



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
Y METALURGIA**

“CONTROL DE CARBÓN ACTIVADO EN PROCESO ADR”

Memoria de Prácticas

Que para obtener el título de:

INGENIERO METALÚRGICO

Presenta

JOSÉ FRANCISCO CRUZ ARREOLA

Hermosillo, Sonora

Junio 2018

Universidad de Sonora

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

DEDICATORIA

A mis Padres José Francisco Cruz Alonso y Luz Esthela Arreola Valle por su paciencia, amor, dedicación y gran sacrificio que me brindaron en todo momento para culminar mis estudios.

A mi familia por alentarme en alcanzar mis metas, ser ejemplo de superación y fomentarme los valores “perseverancia y dedicación”, mismos que me ayudaron a ser paciente para culminar esta bonita etapa.

A Dios por permitirme llegar a esta etapa con salud y motivación de superarme como persona, además de siempre iluminarme en mi camino en los momentos difíciles con su infinito amor.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad de Sonora** por ser mi casa de estudios por 5 años y brindarme conocimiento apto para afrontar problemáticas en mi etapa profesional.

Al **Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia** por otorgarme todo el apoyo durante mi etapa universitaria, así mismo de conocer grandes amistades como llevar siempre en el corazón tan gratos recuerdos vividos en las paredes de dicho departamento.

A **Minera Columbia S.A.P.I de C.V** por permitir realizar mi estancia profesional en sus instalaciones, misma que me permitió realizar mi titulación por medio de memoria de prácticas con su información.

A mi tutor **Dr. Jesús Humberto Coronado López** por estar siempre al pendiente de cualquier duda que se me presentara durante mi estancia profesional, así mismo del gran apoyo que me brindo para la culminación de la presente memoria de prácticas.

Al personal de Minera Columbia por acogerme de la mejor manera posible, tomando siempre sus consejos, conocimiento y amistades, que durante mi estancia profesional estuvieron al tanto que mi proyecto culminara, resolviendo mis dudas y brindado experiencias vividas para la solución de problemas.

Al **Ing. Reyes Rafael Segovia Lucero**, que ha decir verdad fue un pilar importante para la culminación de esta memoria, estando presente desde el inicio hasta la finalización de la misma, ofreciéndome su amistad, consejos y compartiendo sus conocimientos.

A la Jefa de Metalurgia **Ing. Mariana Vega Robles** y a la Supervisora **Ing. Dulce Teresita Gutiérrez Arvizu**, así como a **Francisco Gastelum, Manuela Gámez y Francisco Ross** por el arduo apoyo en el departamento de Metalurgia, asesorándome en cómo realizar cada una de las pruebas plasmadas en esta memoria de prácticas, además de compartir consejos, experiencias y capacitándome para los trabajos del día a día.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA.	II
AGRADECIMIENTOS.	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.	V
ÍNDICE DE FIGURAS.	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.	XI
RESUMEN.	XII
I. INTRODUCCIÓN.	1
I.1 Objetivo.	6
I.2 Objetivo Especifico.	6
II. ANTECEDENTES.	7
II.1 Extracción de oro.	8
II.2 ¿Que es carbón activado?	9
II.2.1 Aplicaciones para carbón activado.	11
II.3 Planta ADR (Adsorción, Desorción y Regeneración)	12
II.3.1 El mecanismo de la adsorción de oro.	12
II.3.2 Factores que influyen en la adsorción de oro en el carbón activado.	13
II.3.2.1 Tamaño de partícula del carbón.	14
II.3.2.2 Venenos inorgánicos.	14
II.3.2.2.1 Venenos inorgánicos adsorbidos.	14

II.3.2.2.2 Formación de escamas en el carbón activado.	16
II.3.2.3 Concentración de Cianuro.	16
II.3.2.4 pH.	16
II.3.2.5 Temperatura.	18
II.3.2.6 Tipo de carbón activado.	18
III. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO ADR	20
IV. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.	29
IV.1 Materiales.	30
IV.2 Pruebas metalúrgicas para optimización de lavados ácidos en planta ADR.	34
IV.2.1 Lavado ácido a diferentes concentraciones.	34
IV.2.2 Determinación de carbonatos.	35
IV.2.3 Pruebas de Actividad.	36
IV.3 Despojo en frio.	36
IV.4 Actividad con solución PLS diluido.	36
IV.5 Actividad añadiendo percarbonato a la solución.	37
IV.6 Actividad con solución sintética pH 11.41 vs. pH 10.5.	37
IV.7 Actividades con solución proveniente de cola planta SART y cabeza ADR con 5 ppm antiincrustante.	37
IV.8 Diagramas de flujo de las pruebas realizadas para optimización de planta ADR.	38

V. RESULTADOS.....	.43
V.1.- Pruebas metalúrgicas para optimización de lavados	
ácidos en planta ADR.....	44
V.1.1.- Lavado ácido a diferentes concentraciones.....	44
V.1.2 Pruebas de actividad.....	45
V.2 Despojo en frío.....	45
V.3 Actividad con solución PLS diluido.....	46
V.4 Actividad añadiendo percarbonato a la solución.....	48
V.5 Actividad con solución sintética pH 11.41 vs. pH 10.5.....	49
V.6 Actividades con solución proveniente de cola	
planta SART y cabeza ADR con 5 ppm antiincrustante.....	50
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	.52
VI.1 CONCLUSIONES.....	.53
V.2 RECOMENDACIONES.....	.54

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación de Mina Lluvia de Oro Unidad Columbia.	3
Figura 2. Patio de lixiviación en riego	3
Figura 3. Pileta de solución rica	4
Figura 4. Vista aérea de planta SART	5
Figura 5. Planta ADR y pileta pobre	6
Figura 6. Carbón activado analizado en un microscopio electrónico de barrido	10
Figura 7. Diferentes tipos de poros formados en el carbón activado”	11
Figura 8. Diagrama de Pourbaix.	17
Figura 9. Diagrama de formación de Ácido Cianhídrico con respecto al pH.	18
Figura 10. Columnas de adsorción	21
Figura 11. Diagrama general del proceso	23
Figura 12. Movimiento de carbón activado en columnas de adsorción ...	24
Figura 13. Tanque de lavado ácido	25
Figura 14. Tanque de despojo	27
Figura 15. Cribas planta ADR	27
Figura 16. Horno regenerador	28
Figura 17. Lotes de carbón en supersaco	28

Figura 18. Botellas en agitación simulando lavado ácido	31
Figura 19. Tubo de centrifuga utilizado para pruebas metalúrgicas	31
Figura 20. Agitador para determinación de carbonatos	32
Figura 21. Bureta graduada para titulación de muestras	32
Figura 22. Recipientes para pruebas de actividad en carbón activado	33
Figura 23. Absorción atómica PinAAcle 900 para análisis de metales	33
Figura 24. Carbón que será sometido a la etapa de secado	34
Figura 25. Solución al inicio de titulación y solución de titulación ya finalizada	36
Figura 26. Diagrama para llevar a cabo pruebas de actividad	38
Figura 27. Diagrama para realizar la prueba de despojo en frío	39
Figura 28. Diagrama para prueba de lavado ácido para carbones	40
Figura 29. Diagrama para determinación de carbonatos en muestra de carbón.	40
Figura 30. Diagrama para valoración de Actividad en pH's 10.5 y 11.49 . . .	41
Figura 31. Diagrama para valoración de la eficacia de percarbonato en pruebas de actividad	41
Figura 32. Diagrama para determinación de actividad con solución proveniente de distintas plantas	41
Figura 33. Diagrama para realización de actividad con solución sintética	42

Figura 34. Diagrama para realización de pruebas de actividad con solución proveniente de cola planta SART y cabeza ADR con 5 ppm de antiincrustante	42
Figura 35. Análisis de carbonatos posterior a lavados ácidos	44
Figura 36. Prueba de actividad a carbones provenientes de lavado ácido	45
Figura 37. Porcentaje de extracción de Cobre en prueba de despojo en frio a diferentes concentraciones de cianuro	46
Figura 38. Porcentaje de eficiencia al tiempo de 10 minutos	47
Figura 39. Porcentaje de eficiencia al tiempo de 49 minutos	47
Figura 40. Porcentaje de extracción a diferentes concentraciones de percarbonato al tiempo de 7 minutos	48
Figura 41. Porcentaje de extracción a diferentes concentraciones de percarbonato al tiempo de 49 minutos	49
Figura 42. Porcentaje de eficiencia al tiempo de 10 minutos para prueba de actividad con solución sintética	49
Figura 43. Porcentaje de eficiencia al tiempo de 49 minutos para prueba de actividad con solución sintética	50
Figura 44. Eficiencia al tiempo de 7 minutos con solución proveniente de ADR, SART y sin antiincrustante	51
Figura 45. Eficiencia al tiempo de 42 minutos con solución proveniente de ADR, SART y sin antiincrustante	51

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla.1 “Complejos de cobre a diferentes valores de pH”	15
Tabla.2 “Ley de Oro para PLS con pH de 10.5 y pH de 11.49”	47

RESUMEN

En el proyecto Minera Columbia, mina Lluvia de Oro, a finales del año 2016 se tomó la decisión de iniciar operaciones en el tajo Columbia, caracterizado por ser una zona con altos contenidos de cobre con una solubilidad del 14%, consientes de esto y en base a pruebas metalúrgicas preliminares, se inicia la rehabilitación de la planta SART orientada a purgar de la solución el cobre, ya que este metal incrementa los costos de lixiviación, reduce la recuperación de oro en el patio, disminuye la eficiencia de la planta ADR, además de ser un contaminante indeseado en el producto final. El proyecto de rehabilitación de la planta SART se prolongó 6 meses adicionales a lo planeado, por lo que fue necesario tomar medidas al respecto en planta ADR y patios de lixiviación. Este trabajo se centró en la realización de pruebas a nivel laboratorio para establecer los parámetros de operación en planta ADR de tal forma que se mitigaran los efectos negativos asociados a el incremento constante de cobre en solución PLS.

En base a los resultados obtenidos, se determinaron los parámetros óptimos para la mitigación de cobre en solución mientras que la planta SART se encontraba en rehabilitación y después que planta SART inicio sus operaciones.

Se logro incrementar la eficiencia de la planta de un 73 a un 78 %

I. INTRODUCCIÓN

El oro y el cobre fueron los primeros metales utilizados por el ser humano debido a su existencia en estado nativo y sus propiedades dúctiles y maleables, lo cual quiere decir que era de fácil manejo con instrumentos primitivos. Los primeros usos del oro fueron en el medio este, durante la era neolítica, donde el oro era colectado en arroyos ya sea manualmente o por métodos de concentración gravimétrica [1]

La minería es una actividad económica que siempre ha estado presente en el proceso histórico de México. Para lograr una adecuada comprensión de su desarrollo necesitamos conocer su historia; para lograr su adecuada planeación nos es útil conocer su geografía, y se requiere dominar su tecnología para aprovechar sus productos en forma racional y económica. [2]

La primera operación de Metallorum, es una mina con operaciones a cielo abierto y lixiviación en pilas, está dedicada a la explotación y recuperación metalúrgica de metales preciosos, especialmente oro, subproducto de plata y otros minerales en mínimas proporciones. Se ubica a 16 kilómetros del municipio de Magdalena de Kino, figura 1.

El proceso comienza en la etapa de minado, que mediante pruebas realizadas en el laboratorio de ensayos se determina cual es el área delimitada que cumple con un valor mayor a la ley de corte (ley de corte corresponde a la ley más baja que puede tener un cuerpo mineralizado para ser extraído con beneficio económico), de esta manera esa fracción de mineral es redituable extraerla del tajo.

Posteriormente el mineral que cumple con la ley es depositado en patios de lixiviación, siendo regado con solución cianurada (figura 2) con la finalidad de extraer los valores metálicos.



Figura 1. Ubicación de Mina Lluvia de Oro Unid Colombia.



Figura 2. Patio de lixiviación en riego.

La solución rica proveniente de los patios es depositada en una pileta con suelo impermeable llamada “solución rica” (figura 3), desde ahí se alimenta a planta SART (Sulfidización, Acidificación, Recirculación y Espesamiento por sus siglas en inglés), figura 4, con la finalidad de purgar el cobre de la solución (impureza en planta ADR), para después ser enviada a la etapa de recuperación.

La solución rica es bombeada hacia la planta ADR (figura 5), en la cual el oro es adsorbido por el carbón a medida que la solución desciende por rebosamiento en los trenes (columnas) de adsorción.

Ya cumplido el trayecto de solución a través de los trenes de adsorción, la solución sale de las columnas como “solución pobre o gastada”, debido a que la solución cuenta con valores de oro en bajas concentraciones porque ya fue adsorbido en el carbón, esta solución desemboca a la pileta 2 o bien a la “pila pobre” la cual será reutilizada para el riego de patios de lixiviación.



Figura 3. Pileta de solución rica.

Posteriormente el carbón cargado es enviado a etapa de despojo, en donde el carbón es sujeto a alta presión y temperatura, con concentraciones de 15,000 ppm de NaOH y 3,000 ppm de NaCN, esta solución ingresa a los tanques de despojo por la parte inferior y sale por la parte superior del tanque como solución rica.



Figura 4. Vista aérea de planta SART.

Esta solución es enviada a refinería, la cual es sometida a la etapa de electrolisis, en la cual se suministra corriente, recuperando un lodo con altos contenidos metálicos de oro y plata con pequeñas cantidades de cobre en una malla de acero inoxidable, estos valores se extraen de la lana suministrando agua a alta presión, una vez obteniendo estos lodos se añaden al horno junto con fundente para alcanzar una temperatura de alrededor de 1000°C y así obteniendo la barra de metal.



Figura 5. Planta ADR y pileta pobre.

I.1 Objetivo

Mediante la realización de pruebas metalúrgicas, encontrar los parámetros adecuados para la operación de la planta ADR con la finalidad de mantener la eficiencia adecuada.

I.2 Objetivo Específico

Realizar pruebas metalúrgicas simulando las diferentes etapas de la planta ADR, de esta forma es posible contribuir en una mejora positiva considerando el punto de vista económico y humano para mejorar la eficiencia en la planta.

II. ANTECEDENTES

II.1 Extracción de oro

La disolución de oro en una fase cianuro acuosa es conocida desde el siglo XVIII. Scheele en 1783 y Bagraton en 1843 observaron que el oro puede ser disuelto en una solución de cianuro. Elsner en 1846 fue el primero en considerar la vital importancia del oxígeno en la cianuración del oro [3].

La tasa de disolución de Oro depende de la concentración de cianuro, el pH y la concentración de oxígeno disuelto conforme a la siguiente ecuación.



Para comprender de donde proviene la ecuación anterior, primeramente, debemos entender que todos los procesos hidrometalúrgicos, para la extracción de oro, usan una etapa de lixiviación para producir oro en solución como un producto intermediario, en el cual, como se mencionó con anterioridad, una solución alcalina diluida de cianuro es utilizada exclusivamente para la disolución de oro.

En fase acuosa, una solución alcalina de cianuro, el oro es oxidado y disuelto para formar un complejo Au(I)-cianuro, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, la cual forma la siguiente reacción anódica.



La reacción anódica que disolvió el oro es acompañada por la reducción catódica del oxígeno mostrando la siguiente ecuación catódica



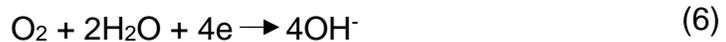
El peróxido de hidrogeno formado es un agente oxidante fuerte formando un agente oxidante fuerte, la cual promueve reacciones de oxidación tal como la siguiente ecuación



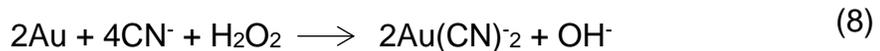
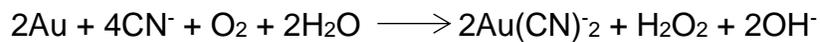
El peróxido de hidrogeno se descompone para formar oxígeno y agua, proporcionando así oxígeno disuelto en solución conforme a la ecuación.



Finalmente, el oxígeno puede ser directamente reducido a iones hidróxido, más bien que H_2O_2 como lo indica la ecuación



En general, la disolución de oro, en soluciones alcalinas de cianuro, considerando ambas reacciones de media celda anódica y catódica, se describe mas precisamente por las siguientes ecuaciones, las cuales proceden en paralelo



Por lo tanto, la reacción de celda propuesta por Elsner es la siguiente [1].



De esta manera obtenemos el metal de interés en este caso oro, llevando a cabo una disolución para obtenerlo en solución y así continuar a la siguiente etapa del proceso que es la recuperación.

II.2 ¿Que es carbón activado?

“Carbón Activado” es un término genérico de una familia de materiales carbonosos altamente porosos que no pueden ser definidos por una fórmula estructural, o por análisis químico. En otras palabras, una pieza de carbón con millones de agujeros entrelazados (llamados poros) es llamado carbón activado.

Bajo un microscopio, el carbón activado luce como una esponja. Los millones de agujeros entrelazados ocupan espacio dentro del carbón, así el carbón activado cuenta con un área superficial interna alta [4], como se muestra en la

figura 6, un carbón activado analizado por un microscopio electrónico de barrido.

Entre las más importantes aplicaciones del carbón activado dentro de la metalurgia extractiva, es la adsorción de oro en su etapa de complejo aurocianuro $\text{Au}(\text{CN})_2^-$.

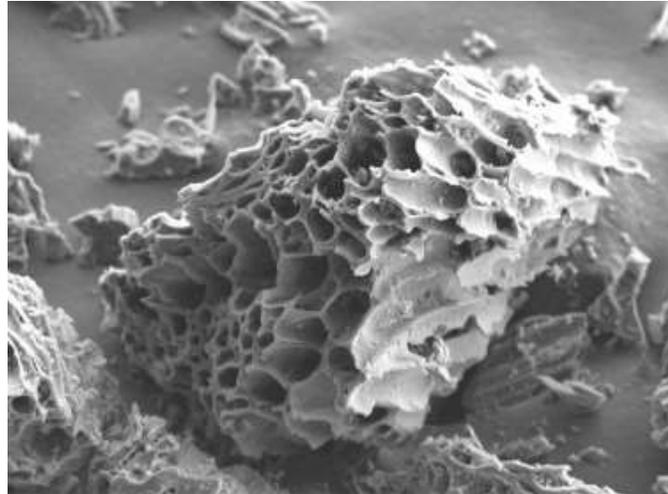


Figura 6. Carbón activado analizado en un microscopio electrónico de barrido.

El carbón activado ha sido utilizado por mucho tiempo en la recuperación de oro a través de soluciones cianuradas provenientes del proceso de lixiviación, pero el mecanismo con el cual el carbón adsorbe el oro es aún indeterminado. El área superficial, que depende del diámetro del poro, es la propiedad más importante del carbón activado [5], los pequeños agujeros entrelazados ocupan espacio en el carbón causando un área superficial interna alta.

Las grandes áreas superficiales contienen millones de poros en donde son de varios tamaños, siendo estos definidos por los siguientes grupos:

Macroporos (500 a 2000 Å en diámetro) estos son poros grandes que van desde la capa límite del carbón hacia el interior. Los macroporos permiten un rápido movimiento de la sustancia adsorbida (en este caso oro) dentro de los granos de carbón activado.

Mesoporos (100 Å a 500 Å) estos son los poros que ramifican de los macroporos, los cuales permiten el paso de la solución que deja los macroporos.

Microporos (8 a 100 Å) los cuales son del tamaño correcto para permitir que la solución adsorbida sea fuertemente adsorbida dentro del carbón activado. Estos poros generalmente ocupan un 95% del total del área interna superficial del carbón activado. Dentro de los microporos es donde se lleva a cabo la adsorción, por lo tanto el meso y macroporo son importantes porque ellos facilitan el transporte de la solución adsorbida hacia la adsorción en el carbón activado [5].

Los diferentes tipos de poros se pueden visualizar en la figura 7, donde se representan los 3 tipos de poros presentes en el carbón y sus medidas

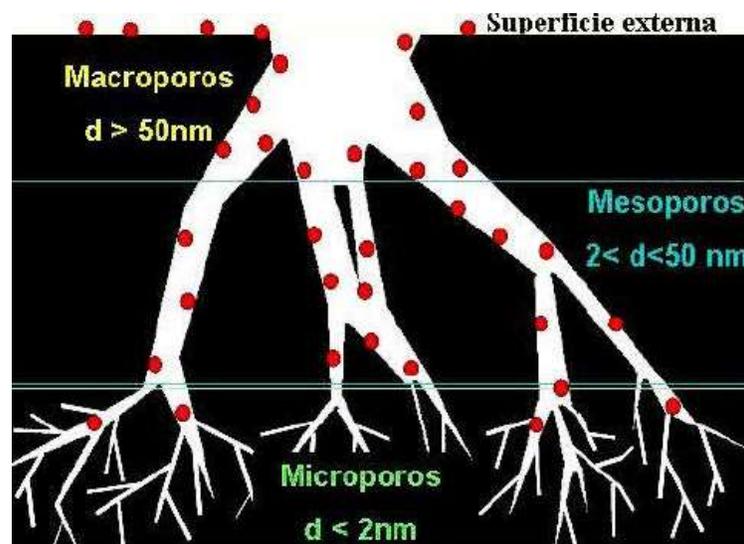


Figura 7. Diferentes tipos de poros formados en el carbón activado [6].

II.2.1 Aplicaciones para carbón activado

Los carbonos activos se utilizan para purificar, decolorar, desodorizar y purificar agua; recuperar solventes o purificar el aire viciado en espacios cerrados como

los restaurantes y purificar los productos químicos o alimentos. Su uso es creciente en campos como la hidrometalurgia, la recuperación de oro o de la plata. Sin embargo, muchos de estos usos requieren de ciertas características de la superficie adsorbente.

El termino carbón activo, en su sentido más amplio, incluye gran variedad de materiales de carbón no cristalino que presentan alto grado de porosidad y área superficial muy extensa. Se obtienen por combustión, o combustión parcial, y descomposición térmica de diversas sustancias que contengan carbono. Dependiendo del material de origen, varían las características del carbón activo obtenido. La estructura del carbón activo se ha comparado, a menudo, con la del grafito y se dice que el carbón activo es muy distinto del grafito. Se le debe imaginar cómo hojuelas planas de anillos aromáticos distribuidos en desorden [7].

II.3 Planta ADR (Adsorción, Desorción y Regeneración)

II.3.1 El mecanismo de la adsorción de oro

El oro es un metal noble, porque prefiere existir en su estado natural como oro metálico. Muy pocos metales son nobles y los metales nobles por naturaleza no son reactivos. El cianuro es uno de los pocos químicos que reaccionan con el oro.

Como ya se explicó anteriormente, una vez que el oro está en su forma soluble como ion auro cianuro en agua, prefiere ser una especie neutral y así la carga negativa es contrarrestada por un ion positivo tales como Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , Na^+ , K^+ , etc.

Para el calcio, el ion auro cianuro se une con el calcio para formar un ion par calcio oro cianuro:



Este ion par es formado cuando el ion auro cianuro y el ion calcio son combinados para formar un enlace iónico, los dos iones se unieron formando una nueva especie química sin ningún cambio ninguna de la otra. En otras palabras, los iones con carga contraria se balancean con otro para formar una especie neutral.

Como se discutió anteriormente, el carbón activado tiene una gran área superficial interna, la cual no contiene carga iónica, lo que quiere decir que en el carbón solo serán adsorbidos iones con carga neutra. La adsorción del ion par en el carbón es por adsorción física y resulta de la acción de las fuerzas de Van Der Waals en la cual la distribución del electrón de adsorber moléculas (tales como el ion par de oro calcio cianuro), y moléculas de superficie solida (carbón activado), los electrones mantienen su asociación con los núcleos originales. Por lo tanto, no hay reacción química entre el ion par y la capa límite del carbón.

La adsorción del ion par oro en la capa límite del carbón activado es expresada como:



II.3.2 Factores que influyen en la adsorción de oro en el carbón activado

La recuperación de oro no es tan simple como adsorber el oro en el carbón activado y después despojar el oro. Hay un número de factores externos que influyen en la adsorción de oro, (positiva y negativa) tales como:

- Tamaño de partícula del carbón
- Venenos inorgánicos
- Concentración de cianuro
- pH
- Temperatura
- tipo de carbón activado

Estos factores afectaran tanto como a la cinética y equilibrio en la adsorción de oro.

II.3.2.1 Tamaño de partícula del carbón

Cuanto menor sea el tamaño de partícula del carbón activado, mayor será el tiempo de adsorción de oro por el carbón, cuanto menor es el tamaño de partícula, más difícil es cribar el carbón de la pulpa, así el tamaño de partícula del carbón activado utilizado en planta es un balance entre eficiencia en el cribado y adsorción de oro. Los tamaños de partícula comúnmente utilizados son:

8/16 # ASTM (1.19 mm a 2.38 mm)

6/16 # ASTM (1.19 mm a 3.36 mm)

6/12 # ASTM (1.68 mm a 3.36 mm)

II.3.2.2 Venenos inorgánicos

Estas entran dentro de dos categorías

- aquellas adsorbidas por el carbón
- formación de escamas en el carbón activado

II.3.2.2.1 Venenos inorgánicos adsorbidos

Los únicos venenos orgánicos significantes que afectan el carbón por adsorción son los cianuros de base metálica. El cianuro reacciona con cualquier metal base similar a la reacción con el oro. Los metales base provienen del mineral en si o bien, de las diferentes etapas del proceso. Los cianuros de base metálica más comunes son los siguientes:

$\text{Cu}(\text{CN})_2^-$, $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$, $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$, $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$, $\text{Hg}(\text{CN})_2^-$, $\text{Co}(\text{CN})_4^{2-}$, $\text{Ag}(\text{CN})_2^{2-}$
(metal precioso – recuperable, una gran cantidad presente de plata actuara como veneno).

Desde que el carbón activado no adsorbe especies con cargas, todos los cianuros de base metálica mencionados con anterioridad deben ser adsorbidos como especie neutral. Desde que el auro cianuro forma el ion par calcio auro cianuro, los cianuros de base metálica lo harán de la misma forma. La estabilidad del ion par formado es muy dependiente de la carga del catión, cuanto menor sea la carga, más estable será el par de iones, por lo tanto, será mayor la probabilidad de adsorción por el carbón activado, así los metales base pueden ser catalogados en orden de adsorción en el carbón activado:

FUERTEMENTE ADSORBIDO



$\text{Co}(\text{CN})_2^{2-}$ no es adsorbido

DÉBILMENTE ADSORBIDO



El cobre tiene características únicas en su forma cianuro de cobre formando diferentes complejos conforme a la Tabla 1, siendo el pH dependiente (en presencia de exceso de cianuro):

Tabla 1. Complejos de cobre a diferentes valores de pH.

pH	Complejo Cu
4 a 10.4	$\text{Cu}(\text{CN})_2^-$
Arriba de 7	$\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$
Arriba de 10.5	$\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$

El cobre es fuertemente adsorbido en el carbón en pH menor a 10.5, sin embargo, cantidades insignificantes son adsorbidas arriba de un pH 10.6, por lo tanto, si grandes cantidades de cobre están presentes en la pulpa, controlando

el pH en valores arriba de 10.5 aseguramos que la adsorción de cobre sea mínima.

II.3.2.2.2 Formación de escamas en el carbón activado

El proceso CIP (Carbón In Pulp por sus siglas en inglés) proporciona condiciones que promueven la formación de escamas de calcio, las más comunes son de CaCO_3 (carbonato de calcio).

El calcio está presente debido a la adición de cal para controlar el pH en patios de lixiviación. CO_2 , O_2 y CN^- están presentes en la lixiviación de oro.

La superficie del carbón activado actúa como una semilla, por la adsorción de especies neutrales (ejemplo O_2), así aumentando sus concentraciones efectivas, tal como catalizar la oxidación del cianuro.

La formación de escamas está en la superficie externa del carbón activado, la acumulación de escama bloquea el meso y macro poro, previniendo que el oro sea adsorbido por el carbón. La formación de escama no es un proceso de adsorción en equilibrio por lo tanto esta incrementara en cada paso por el circuito de adsorción. Por lo tanto, es importante remover las escamas antes de regresar el carbón nuevamente al circuito. La escama es removida durante el lavado ácido. El CaCO_3 reacciona con el HCl para formar $\text{CaCl}_2 + \text{CO}_2$ (o $\text{CaNO}_3 + \text{CO}_2$ con HNO_3).

II.3.2.3 Concentración de Cianuro

El cianuro es importante para la lixiviación de oro y un exceso es generalmente mantenido para asegurar la lixiviación máxima.

II.3.2.4 pH

Valores altos de pH estabilizan el ion $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ en solución, disminuyendo la posibilidad de la adsorción de él ion par auro – calcio cianuro. Cuanto más bajo es el pH, mayor es la posibilidad de la adsorción de oro. Sin embargo, a pH's

bajos la formación de HCN es peligrosa, por lo tanto la operación óptima de pH para el proceso CIP es entre 10.5 y 11.

En la figura 8, se presenta el diagrama de Pourbaix y en la figura 9, se presenta el diagrama de formación de Ácido Cianhídrico con respecto al pH.

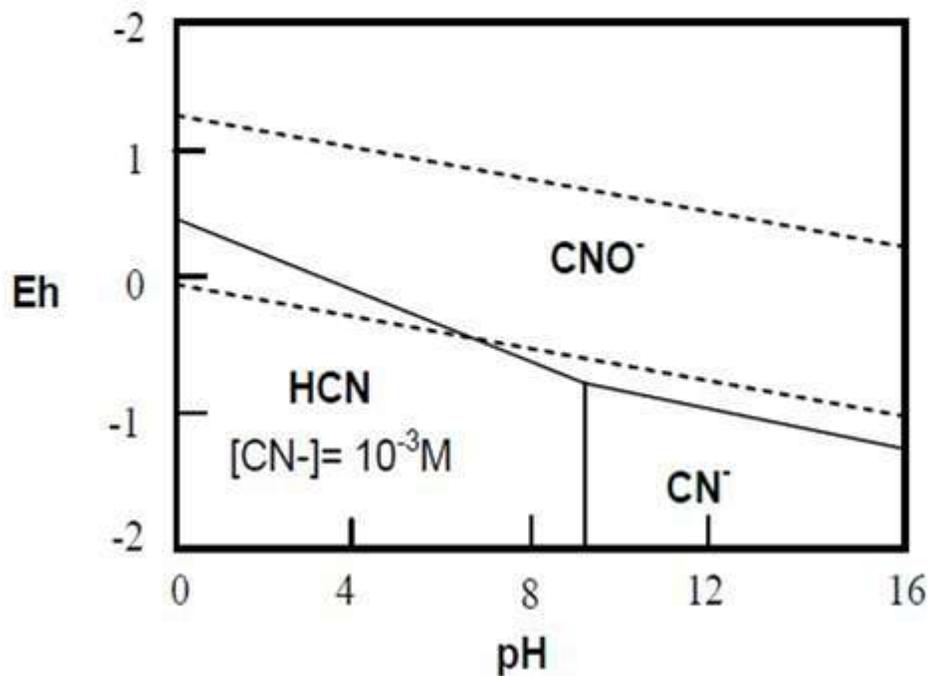


Figura 8. Diagrama de Pourbaix.

Cianuro como HCN (%)

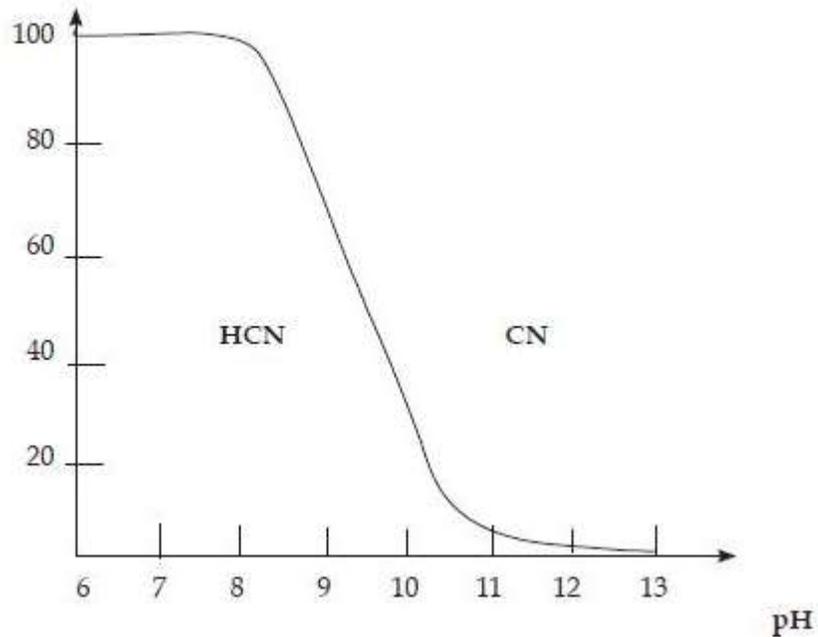


Figura 9. Diagrama de formación de Ácido Cianhídrico con respecto al pH.

II.3.2.5 Temperatura

la adsorción del ion par auro-calcio cianuro por el carbón activado genera una reacción exotérmica, por ejemplo, cuando el oro es adsorbido, se genera calor. Así la adsorción de oro por carbón es favorable cuando las temperaturas son bajas; las plantas de CIP generalmente se desempeñan mejor durante las épocas invierno que en las épocas de calor. Convencionalmente, para remover (eluir) el oro del carbón, la temperatura debe ser alta.

II.3.2.6 Tipo de carbón activado

El corazón de cualquier planta de CIP o CIL es el carbón activado ya que el carbón activado es el que adsorbe el oro, por lo tanto, el carbón activado tendrá un efecto en la recuperación de oro.

El carbón activado puede ser manufacturado de una variedad de raros materiales, que definen la estructura (ej. Distribución del tamaño del poro,

dureza, etc.), del carbón activado. El proceso de manufacturación también tendrá un efecto en las propiedades del carbón activado. En consecuencia, hay una multitud de factores que afectaran las propiedades del carbón. Ya que un carbón activado puede ser hecho a la medida para adaptarse a ciertas aplicaciones, los factores más importantes para las aplicaciones específicas determinaran el carbón activado más adecuado. Para la recuperación de oro en CIP y CIL, estos son los factores.

- Dureza – parámetro físico
- Actividad cinética – parámetro químico
- Capacidad de carga – parámetro químico
- Elución – parámetro químico
- Características del tamaño de partícula – parámetro físico

El carbón activado elaborado desde la cascara de coco es el tipo de carbón más común utilizado en las plantas de CIP y CIL [4]

III. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO ADR

La solución rica producto de la lixiviación en pilas es bombeada desde la pileta 1 (pileta de solución rica), (figura 3), hacia el circuito de adsorción mediante equipo de bombeo, ingresando la solución rica a los circuitos llamados “Trenes de Adsorción”; al ingresar a los diferentes trenes de adsorción como se observa en la figura 10, se agrega antiincrustante con la finalidad de evitar adherencia de carbonatos en la capa externa del carbón activado.



Figura 10. Columnas de adsorción.

Conforme el carbón asciende en las columnas, los valores de oro serán atrapados por el carbón activado contenidos en las columnas [8].

Las columnas de adsorción tienen la finalidad de lograr la recuperación de los valores de oro y plata disueltos en la solución de cianuro, por lo tanto, la solución que alimenta a los trenes es bombeada hacia un cajón donde se encuentra una malla, reteniendo materiales y basura que puedan provocar

taponamiento en las columnas, posteriormente alimentar la solución limpia a la columna 1 de ambos trenes.

Después por rebosamiento y gravedad, la solución que sale de la columna 1 alimenta a la columna 2 y de esta manera sucede simultáneamente hasta llegar a la columna 5.

Al terminar su trayecto por las columnas pasa por una malla cuyo objetivo es atrapar el carbón fino que se mantiene en suspensión y sale de las columnas; esto es necesario para evitar la fuga de carbón fino, si este carbón llegara hacia el patio de lixiviación, se perderían los valores contenidos en él, además de seguir adsorbiendo oro presente en la solución de riego. Una vez filtrada la solución, también por gravedad desemboca en una pila llamada “pila pobre” ya que la solución tiene oro en muy bajas concentraciones (figura 5), [9].

La solución barren (o también llamada solución cola) es conducida a la pileta pobre pasando por la malla 20#, luego ira al tanque de solución lixivante, donde previa compensación de reactivos tanto como NaCN y cal, es bombeada a los patios de lixiviación (figura 2), haciendo así un circuito cerrado permanente en la operación como se representa en la figura 11 [5].

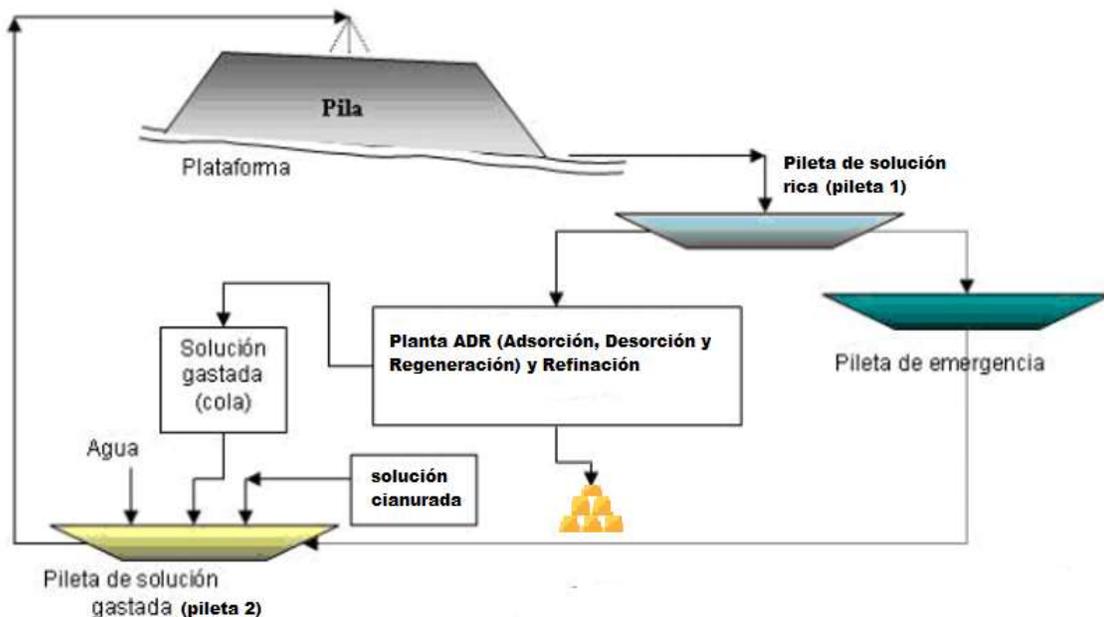


Figura 11. Diagrama general del proceso.

El movimiento de carbón activado entre las columnas (figura 12) se realiza con e ductores, los cuales funcionan por medio de agua a presión, la cual fluye por su parte superior causando una diferencia de presiones entre el e ductor y el carbón en solución en la columna, de este modo el carbón es succionado y removido hacia la columna superior.

Un punto de referencia para el inicio del movimiento del carbón activado del tren de columnas será la concentración de oro presente en las colas, esto depende de la configuración de los trenes y la eficiencia deseada, usualmente se maneja una eficiencia del 92% al 95%, además en este punto el carbón alcanza la carga metálica óptima (Usualmente de 1 a 2kg de oro por tonelada dependiendo del diseño) minimizando el consumo de reactivos por onza recuperada.

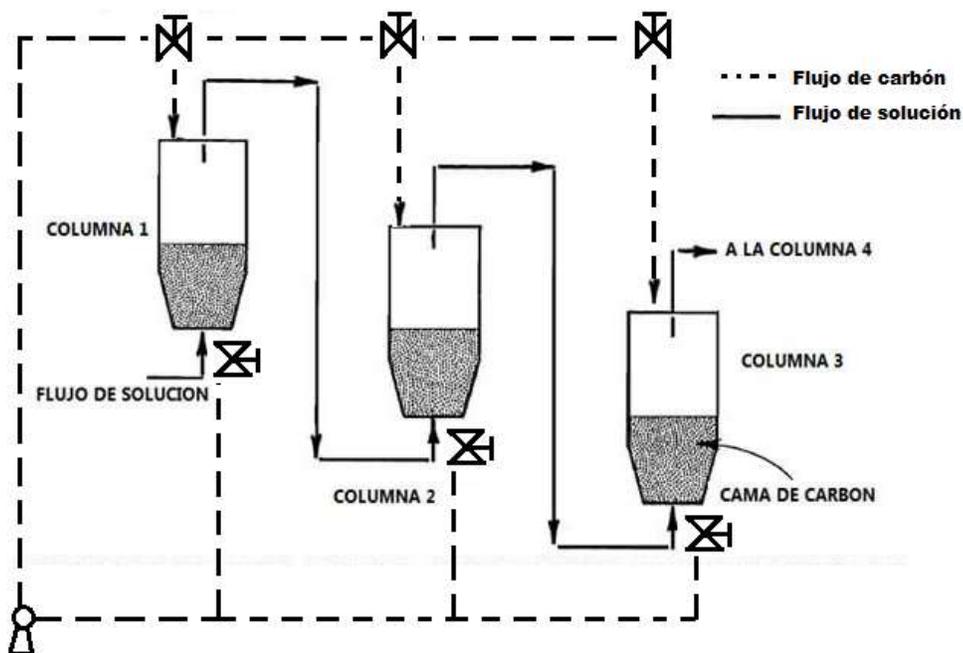


Figura 12. Movimiento de carbón activado en columnas de adsorción.
<https://www.911metallurgist.com/metalurgia/adsorcion-carbon-activado/>

El movimiento se realiza en contracorriente, es decir, el carbón de la columna 1 es removido del tren y es reemplazado por el carbón de la columna 2 y este a su vez por el carbón de la columna tres y así sucesivamente. Esto se realiza de esta manera debido a que la columna 1 es la que tiene mayor carga metálica. Para reemplazar el carbón de la columna 5 es necesario tener presente el dato de actividad de carbón, ya que este nos indicará si un lote es apto o no para utilizarse.

Esta operación consiste en poner en contacto una cantidad definida de carbón previamente acondicionado con una solución estándar de concentración de oro conocida, esta mezcla se coloca en una mesa de rodillos por 42 minutos tomando muestra cada 7 minutos, después se analiza cada muestra por absorción atómica para conocer la cantidad de oro que absorbió el carbón. Es así como se evalúa el lote más conveniente para reingresarlo al proceso [8].

Previo al despojo del carbón cargado, es necesario cribarlo por la malla #14 para eliminar el fino, con esto se evita taponamiento de filtros y migración de carbón hacia las celdas de electrodeposición en la fase de despojo, una vez cribado, se lleva a la etapa de lavado ácido, esto con la finalidad de eliminar carbonatos presentes en el carbón como incrustación.

En algunos procesos es opcional la aplicación de despojo en frío, debido que en muchas ocasiones existe la presencia de grandes cantidades de cobre en el carbón, por lo que es necesario remover dichos valores para evitar contaminación en el producto final, en este caso la barra de dore, o bien, alguna penalización por el grado de pureza de la misma. Este tipo de despojo se realiza alimentando al tanque altos contenidos de NaCN y NaOH a una concentración óptima hasta obtener la máxima purgación de cobre presente en el carbón.



Figura 13. Tanque de lavado ácido.

Una de las últimas etapas llevadas a cabo es el despojo en caliente, la cual podemos definir como la inversa de adsorción en los trenes, ya que aquí se extraen los valores metálicos. Consiste en depositar al tanque (Figura 14), el lote más conveniente de carbón cargado basándose en los resultados de ensaye realizados a carbones en laboratorio; para despojar los valores metálicos del carbón, se alimenta solución a una temperatura de 120°C con altos contenidos de NaCN y NaOH por la parte inferior del tanque y obteniendo una solución rica en la parte superior del tanque, manejando siempre una presión de 55 psi, esta solución llega al tanque de solución rica, en el cual mediante bombeo se envía a electrolisis en refinería, donde obtenemos un precipitado rico en oro, por lo tanto la solución resultante de esta etapa se recircula al tanque de solución pobre, alimentándola nuevamente al tanque de despojo, hasta obtener una concentración < 20 ppm de oro en la solución rica, esto nos indica que ya no es conveniente seguir despojando este carbón por lo que se toma la decisión de finalizar el despojo.

El carbón despojado que aún se encuentra en el tanque debe ser enjuagado con agua antes de extraerlo, posteriormente se toma una muestra del carbón despojado para evaluar su eficiencia en actividad en el departamento de metalurgia en la cual, si se valora una eficiencia alta no es necesaria una regeneración de este carbón, pero si la eficiencia de este carbón es baja, se procede a someterlo a la etapa de regeneración de carbón (Figura 16).

La etapa de regeneración consiste en someter el carbón a una temperatura entre los 500°C – y 800°C, realizando un recorrido de un lote de carbón por un tiempo de 24 hrs sometido a una atmosfera reductora pobre en oxígeno con la finalidad de evitar la obtención de CO₂ y eliminar las materias orgánicas contaminantes.



Figura 14. Tanque de despojo.



Figura 15. Cribas planta ADR.



Figura 16. Horno regenerador.



Figura 17. Lotes de carbón en supersaco.

IV. MATERIALES Y METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

IV. 1 Materiales

En el presente trabajo de investigación se realizaron múltiples pruebas tales como:

- Lavados ácidos a diferentes concentraciones
- Determinación de carbonatos
- Actividad a carbones provenientes de pruebas de lavados ácidos
- Despojo en frío
- Actividad con solución PLS diluido
- Actividad añadiendo percarbonato a la solución
- Actividad con solución sintética pH 11.41 vs pH 10.5
- Actividades con solución proveniente de cola planta SART y cabeza ADR con 5 ppm antiincrustante.

Todas ellas con la finalidad de optimizar el proceso ADR.

En el caso de las pruebas de lavado ácido se utilizaron recipientes (figura 18), donde el carbón fue puesto en contacto con ácido clorhídrico colocando los recipientes en mesa de rodillo por un tiempo determinado, una vez cumplido el tiempo establecido se procede a realizar la determinación de carbonatos, en el cual se utilizan tubos de centrifuga (figura 19) en los cuales el carbón ya lavado con ácido es agitada con solución de HCl 1M, en un agitador de movimiento axial (figura 20), cumpliendo el tiempo de prueba la solución utilizada es titulada con bureta graduada (figura 21) y así se reconoce la cantidad de carbonatos presentes en el carbón, por último es necesario realizar prueba de actividad a los carbones anteriormente lavados con ácido, la cual se efectúa en recipientes (figura 22), donde se permita añadir 2 gramos de carbón activado con 200 ml de solución rica <1 ppm Au, estos recipientes son colocados en mesa de rodillos para su agitación y extracción de alícuota de 10 ml cada 7 min, cumpliendo las 6 extracciones se determinan los valores de Au mediante análisis de absorción atómica en el equipo Perkin Elmer PinAAcle 900 (figura 23), para

posteriormente determinar que lavado ácido fue más eficiente respecto a la eficiencia mostrada por la prueba de actividad.



Figura 18. Botellas en agitación simulando lavado ácido.



Figura 19. Tubo de centrifuga utilizado para pruebas metalúrgicas.



Figura 20. Agitador para determinación de carbonatos.



Figura 21. Bureta graduada para titulación de muestras.



Figura 22. Recipientes para pruebas de actividad en carbón activado.



Figura 23. Absorción atómica PinAAcle 900 para análisis de metales.

IV.2 Pruebas metalúrgicas para optimización de lavados ácidos en planta ADR

IV.2.1 Lavado ácido a diferentes concentraciones

Primeramente, se procede a la preparación de soluciones de HCl en concentraciones de 2%, 5%, 7% y la cuarta solución se ajusta el pH a un valor de 2, teniendo un total de cuatro soluciones de diferente concentración.

La solución con la que se prepararon las soluciones mencionadas con anterioridad proviene del tote de HCl ubicado en planta ADR al cual se aplicaron las respectivas diluciones con las que se realizó la presente prueba

Ya teniendo las soluciones de HCl preparadas, se utiliza un carbón despojado (CD) en específico proveniente de planta ADR, el cual es necesario someterlo a un secado (figura 24), previo a las pruebas de lavado ácido por un periodo de 3 a 4 horas, o bien, hasta comprobar que se ha eliminado la mayor cantidad de humedad para proceder con la prueba.



Figura 24. Carbón que será sometido a la etapa de secado.

IV.2.2 Determinación de carbonatos

Para el análisis de carbonatos, se preparan dos soluciones, una de NaOH 1M y otra de HCl 1M

Ya preparadas las soluciones de NaOH y HCl, se pesa un gramo de carbón, el cual fue sometido a las pruebas de lavado ácido y se añade a tubo de centrifuga (figura 19), seguido de una alícuota de 30 ml de HCl 1M, mismo procedimiento para las demás concentraciones, la determinación de carbonatos se efectúa por triplicado, en esta ocasión se contempla en la prueba una muestra del carbón despojado (CD) que no se sometió al lavado con la finalidad de realizar una comparativa de la presencia de carbonatos antes y después de la prueba de lavado.

Los tubos de centrifuga son cerrados y agitados por un tiempo de 30 minutos en un agitador como se muestra en la figura 20.

Ya concluido el tiempo de agitación, se procede a titular la muestra de HCl que fue puesta en contacto con los carbones lavados y carbón despojado no sometido a prueba de lavado ácido.

Para la titulación de HCl, se añade NaOH a una bureta graduada, se toman 10 ml de muestra, añadimos dos gotas de fenolftaleína y accionamos la válvula para comenzar con la titulación, se da por concluida al momento que la solución se torna de color violeta tal como se muestra en la figura 25



Figura 25. Solución al inicio de titulación y solución de titulación ya finalizada.

IV.2.3 Pruebas de Actividad

Al carbón proveniente de las pruebas de lavado ácido, se somete a un lavado con agua para eliminar el ácido presente en el carbón, es necesario someterlo a un segundo secado para eliminar la humedad y procedemos con prueba de actividad.

IV.3 Despojo en frio

Se realizaron pruebas metalúrgicas a diferentes concentraciones (750, 1500, 3000, 4000, 6000 y 8000 ppm NaCN^-) con la finalidad de determinar cuál es el parámetro adecuado para la purgación de cobre.

IV.4 Actividad con solución PLS diluido

Dicha prueba tiene la finalidad de cerciorar si el pH afecta en la adsorción de oro en el carbón, como la solución PLS contenida en la pileta uno su valor de pH es de 11.49, se propuso realizar actividades con carbón despojado (CD) seleccionados con solución directa de la pileta a pH 11.49 y consecutivamente otra prueba de actividad con solución diluida hasta obtener un pH de 10.5.

IV.5 Actividad añadiendo percarbonato a la solución

El uso de percarbonato tiene como finalidad evitar incrustaciones de los componentes de dureza dentro de los poros del carbón activado, ya que la reacción genera oxígeno que reacciona con carbonatos y así evitamos la incrustación, por tal motivo se realizó una prueba de actividad a diferentes concentraciones de percarbonato con el fin de evaluar cuál es la concentración adecuada que se debe añadir a las columnas de adsorción, siempre y cuando considerando el punto de vista económico para el proceso.

IV.6 Actividad con solución sintética pH 11.41 vs. pH 10.5

Realizar una actividad con solución sintética tiene la finalidad de estudiar el comportamiento de adsorción con una solución libre de impurezas (tales como carbonatos, sulfatos, etc.), por lo que se prepara una solución que simula las condiciones de la pila rica tal y como se muestra a continuación:

$\text{CN}^- = 1280 \text{ ppm}$

$\text{pH} = 11.41$

$\text{Au} = 0.509 \text{ ppm}$

$\text{Ag} = 0.33$

$\text{Cu} = 742.4$

Y a su vez se preparó una segunda solución con las mismas condiciones, pero con pH ajustado a 10.5, con la finalidad de comprobar si se encuentra algún comportamiento inusual por la diferencia de pH.

IV.7 Actividades con solución proveniente de cola planta SART y cabeza ADR con 5 ppm antiincrustante.

la finalidad de realizar las pruebas con la adición de antiincrustante en las soluciones es verificar si inhibe que sales tales como carbonatos, silicatos y sulfatos no se adhieran en el carbón, para ello a la solución proveniente de

planta SART y de ADR se acondiciono a una concentración de 5 ppm de antiincrustante, posteriormente se procedió a realizar la actividad.

IV.8 Diagramas de flujo de las pruebas realizadas para optimización de planta ADR

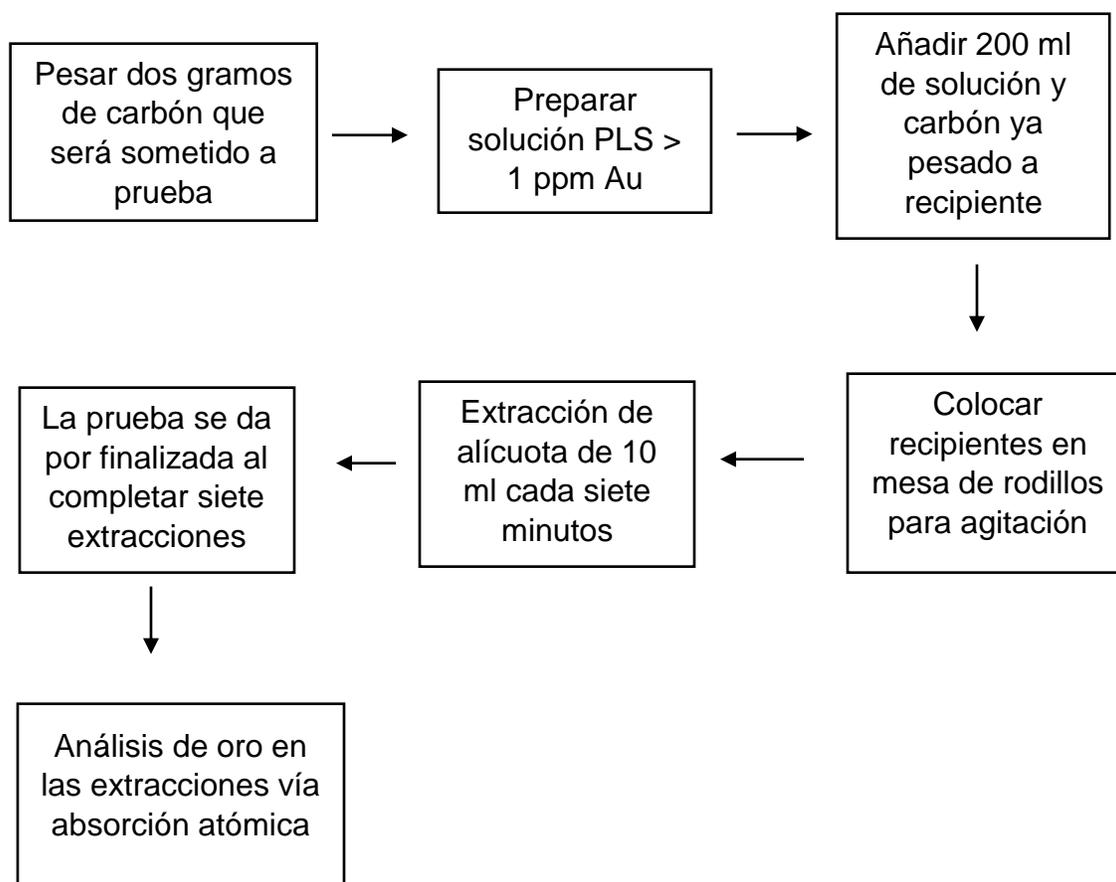


Figura 26. Diagrama para llevar a cabo pruebas de actividad.

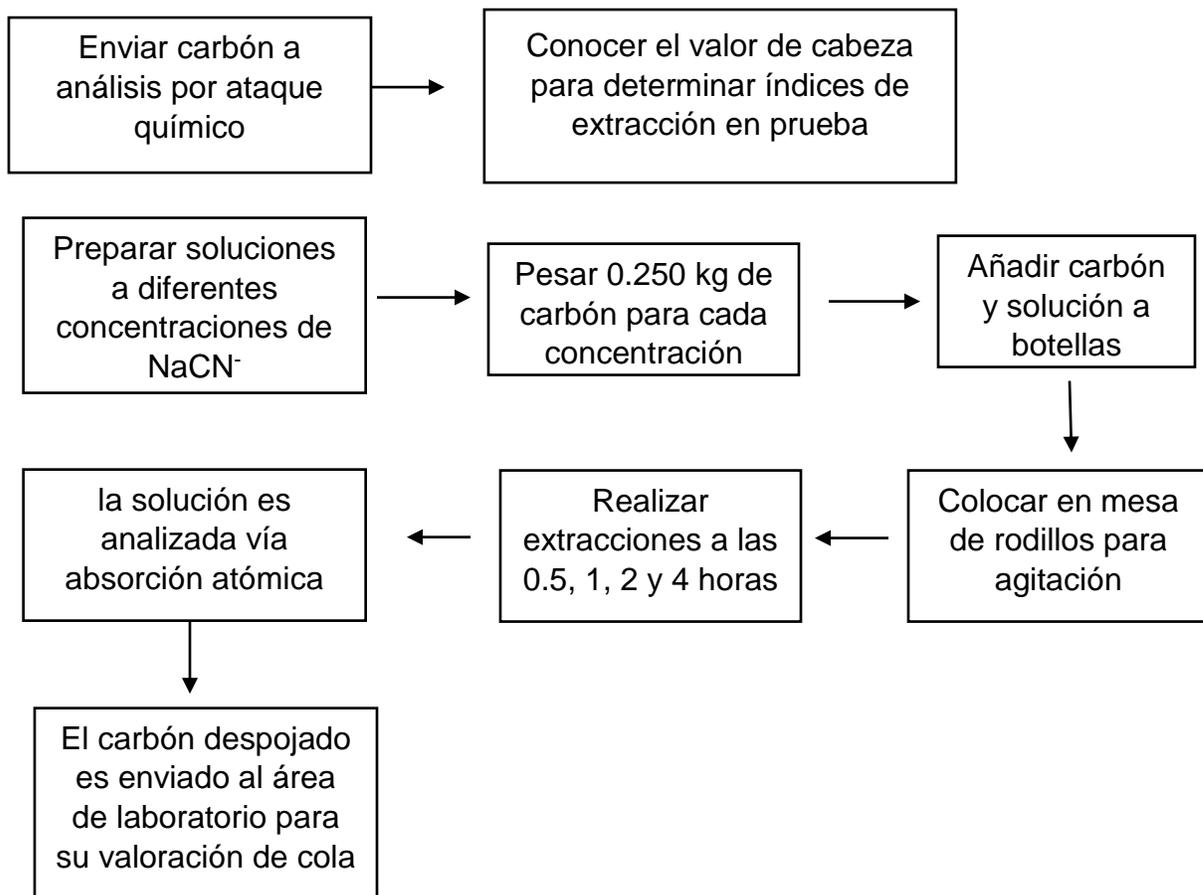


Figura 27. Diagrama para realizar la prueba de despojo en frío.

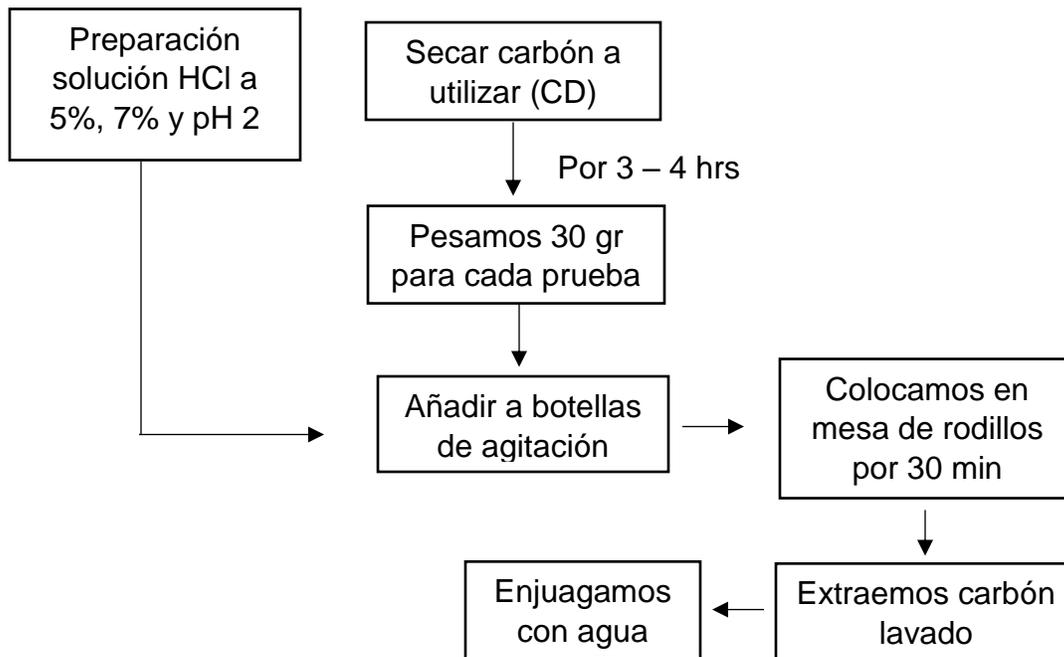


Figura 28. Diagrama para prueba de lavado ácido para carbones.

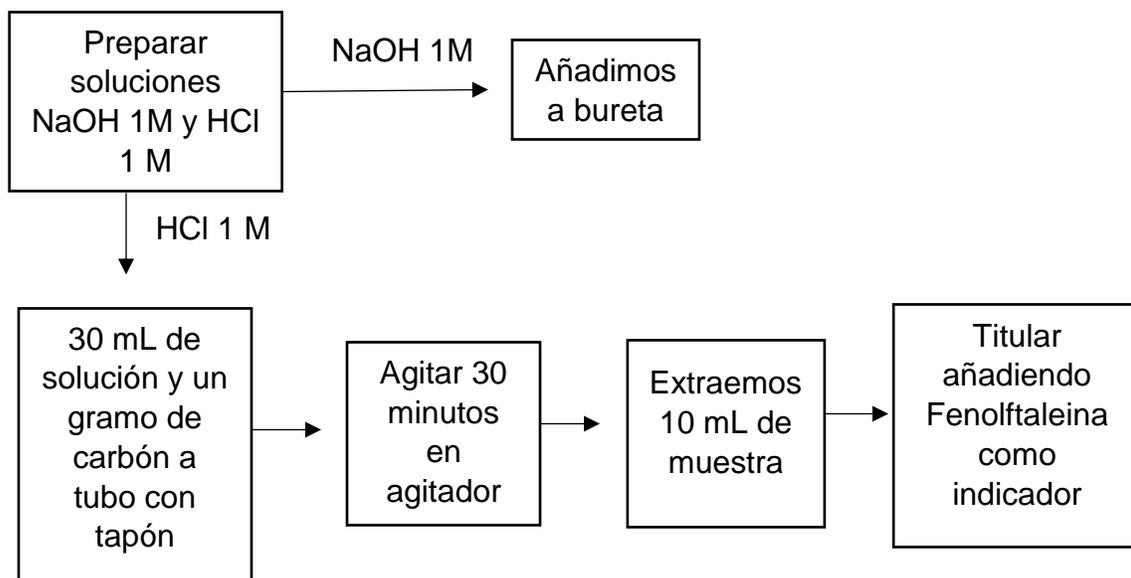


Figura 29. Diagrama para determinación de carbonatos en muestra de carbón.

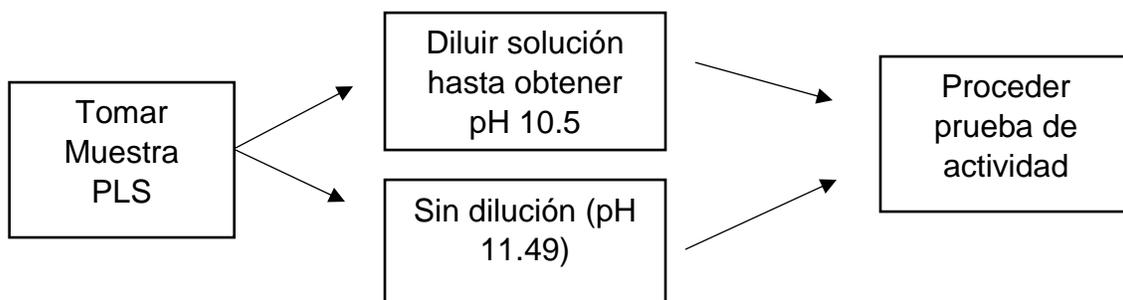


Figura 30. Diagrama para valoración de Actividad en pH's 10.5 y 11.49.

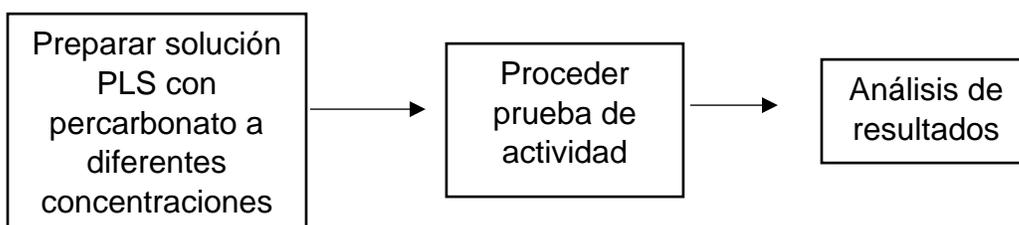


Figura 31. Diagrama para valoración de la eficacia de percarbonato en pruebas de actividad.

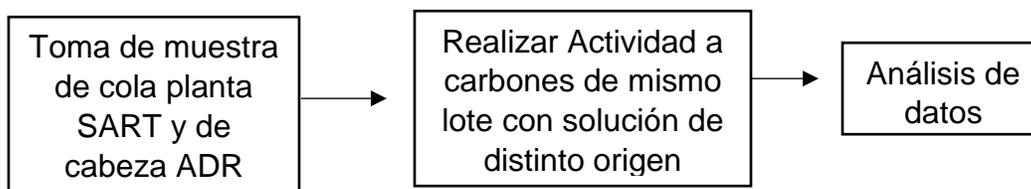


Figura 32. Diagrama para determinación de actividad con solución proveniente de distintas plantas.

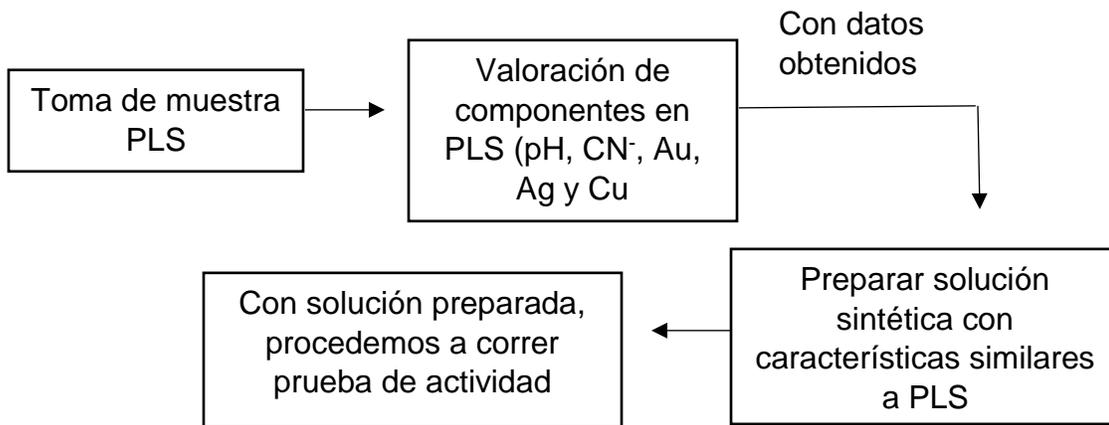


Figura 33. Diagrama para realización de actividad con solución sintética.

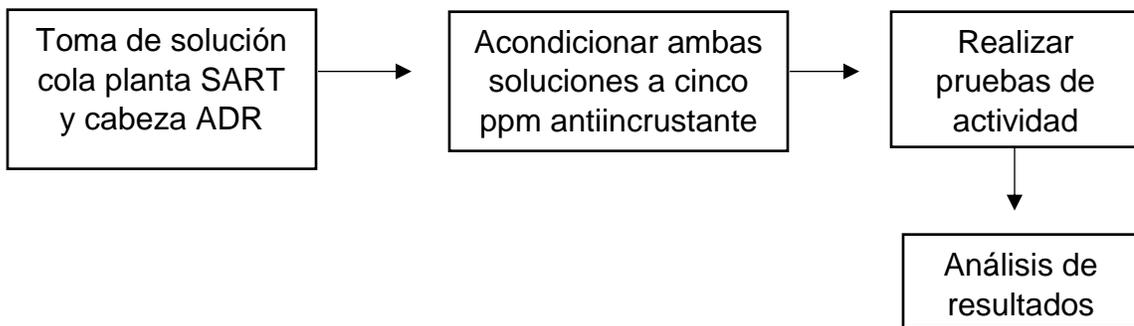


Figura 34. Diagrama para realización de pruebas de actividad con solución proveniente de cola planta SART y cabeza ADR con 5 ppm de antiincrustante.

V. RESULTADOS

V.1. Pruebas metalúrgicas para optimización de lavados ácidos en planta ADR

V.1.1.- Lavado ácido a diferentes concentraciones

Conforme a los resultados de la prueba de carbonatos presentados en la figura 35, a un lavado con concentración de HCl 7% se obtuvo la mayor eliminación de carbonatos, cabe mencionar que a esta concentración, se presentó un daño al carbón, por lo que se procede a la etapa de actividad de carbones, para analizar en que lavado ácido hay una eficaz eliminación de carbonatos, sin dañar el carbón pero que a su vez tenga una buena adsorción de oro.

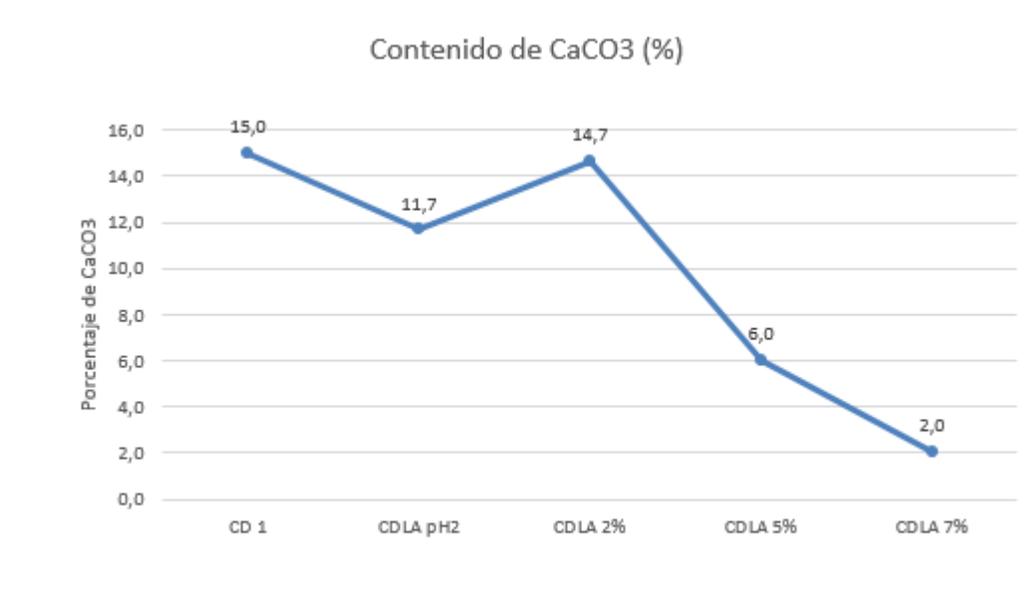


Figura 35. Análisis de carbonatos posterior a lavados ácidos.

V.1.2 Pruebas de actividad

Conforme a los resultados representados en la figura 36, se llega a la conclusión que el carbón más eficiente fue el sometido al lavado con ácido HCl 2%, debido a que representa un porcentaje de eficiencia de 80.9, mayor a los otros resultados; por el contrario, el lavado ácido más eficiente fue el de HCl 7% pero deficiente en la prueba de actividad, lo que nos indica que presenta que, a mayores concentraciones, presenta un daño severo al carbón.

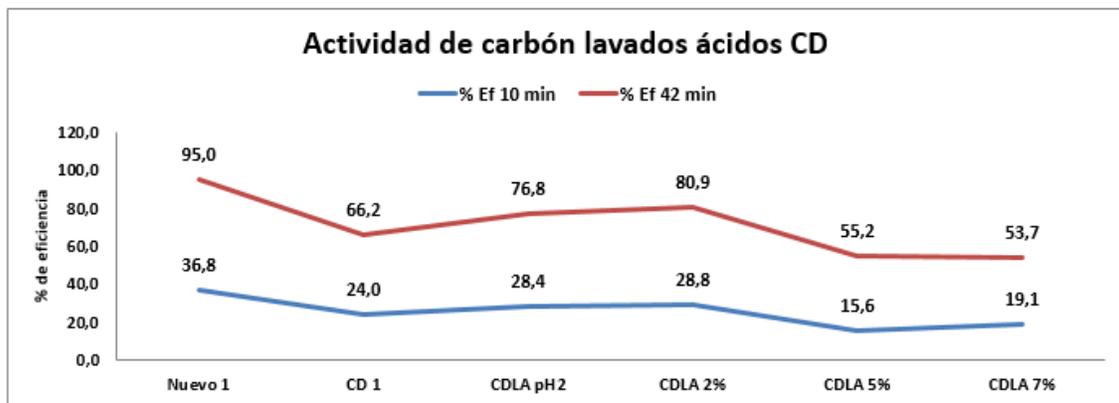


Figura 36. Prueba de actividad a carbones provenientes de lavado ácido.

V.2 Despojo en frío

En base resultados obtenidos de la prueba, se determina que la concentración óptima es a 4000 ppm CN; conforme al gráfico presentado en la figura 37, ya que el cobre a partir de esa concentración, el índice de extracción se comporta repetitivo en concentraciones altas, lo que significaría mayor gasto de reactivo solo para purgar un 1.9% más de cobre, razón que no es redituable.

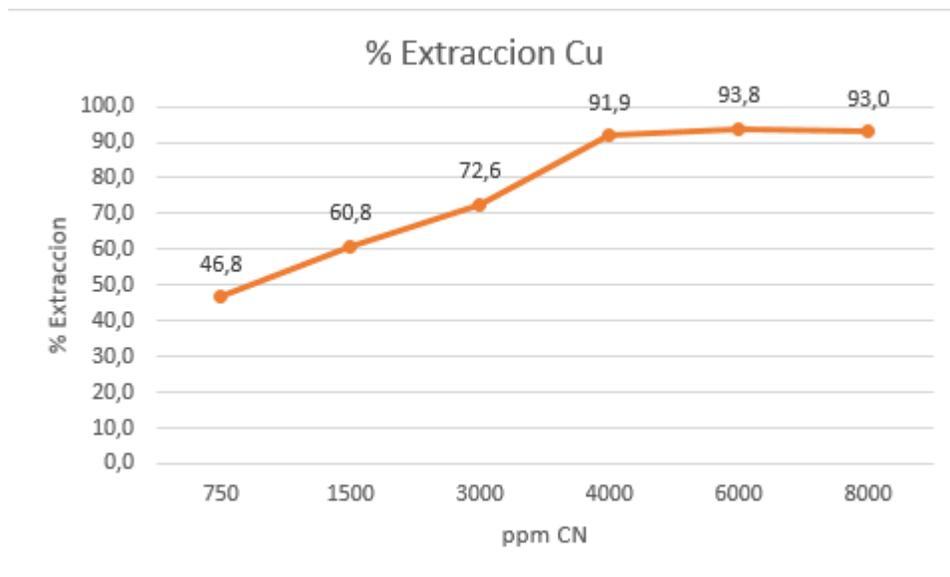


Figura 37. Porcentaje de extracción de Cobre en prueba de despojo en frio a diferentes concentraciones de cianuro.

V.3 Actividad con solución PLS diluido

Conforme a los resultados presentes en las figuras 38 y 39, se concluye que en la prueba el pH si afecta en la adsorción de oro en el carbón, debido que en estos pH se encuentra la presencia de impurezas tales como dureza, sulfatos entre otros. Pero como conclusión fuera de los resultados de la prueba se conoce que para llegar a un pH de 10.5 fue necesario diluir la muestra que originalmente se encontraba a pH 11.41, por lo tanto, se presentó una disminución en los valores de oro, motivo por el cual debemos tomar en cuenta la carga real del oro, es esa la razón por que el oro se adsorbió con mayor eficiencia en pH 10.5 que en el pH 11.41

Tabla 2. Ley de Oro para PLS con pH de 10.5 y pH de 11.49.

	Solución PLS	PLS Diluido
pH	11,49	10,5
Ley Au (g/T)	0,5	0,327

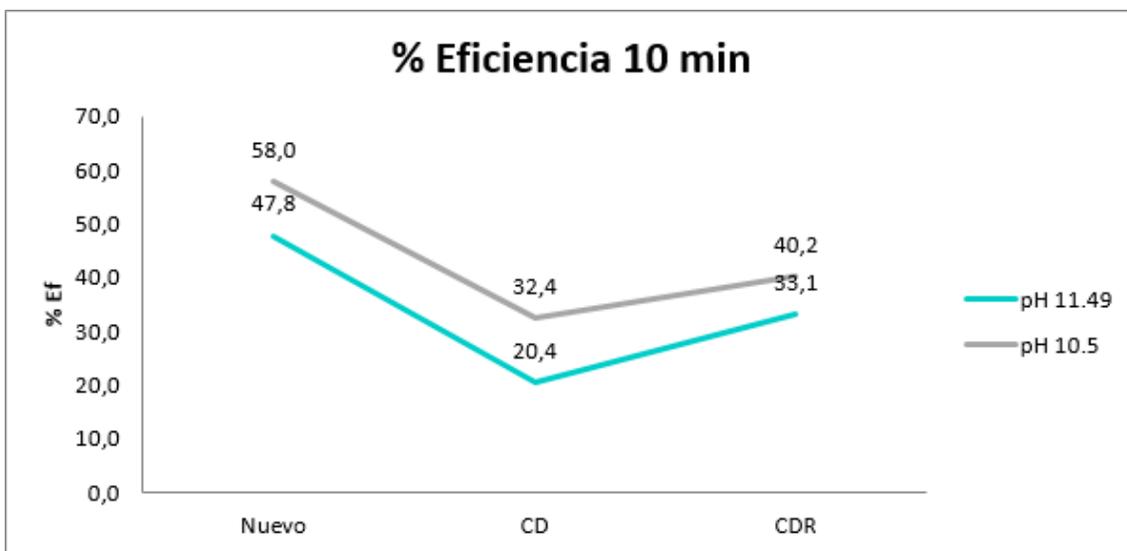


Figura 38. Porcentaje de eficiencia al tiempo de 10 minutos.

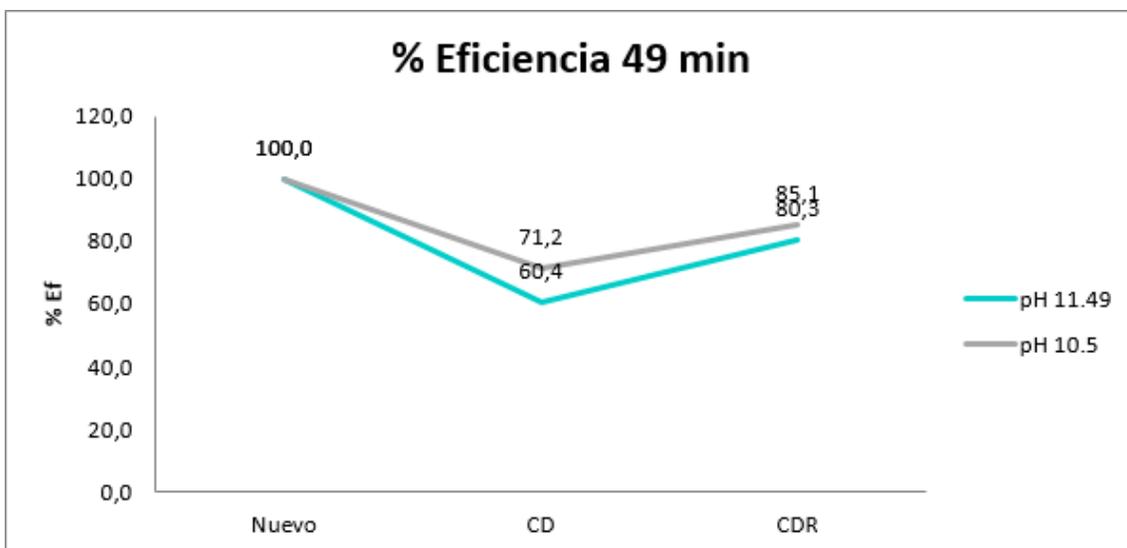


Figura 39. Porcentaje de eficiencia al tiempo de 49 minutos.

V.4 Actividad añadiendo percarbonato a la solución

Tal como se observa en la figura 40 y 41, no es posible optar por una concentración óptima de percarbonato debido a los diferentes comportamientos que presentaron en las muestras de 7 minutos y 49 minutos, por ejemplo a los 7 minutos la concentración que fue más eficiente en los diferentes carbones fue la de 100 ppm de Na_2CO_3 , por el contrario, al tiempo de 49 min en el caso del CD y CDR la mayor eficiencia se presenta en la solución de pls sin percarbonato, pero en el carbón Nuevo y CDLA muestran los mejores resultados con una concentración de 10 ppm de Na_2CO_3 .

Si es necesario determinar cuál fue la concentración óptima de esta prueba, optaríamos por la de 100 ppm Na_2CO_3 , pero como los resultados son muy similares, el hecho de variar la concentración al añadir percarbonato a los trenes de adsorción en el proceso ADR no resultaría redituable.

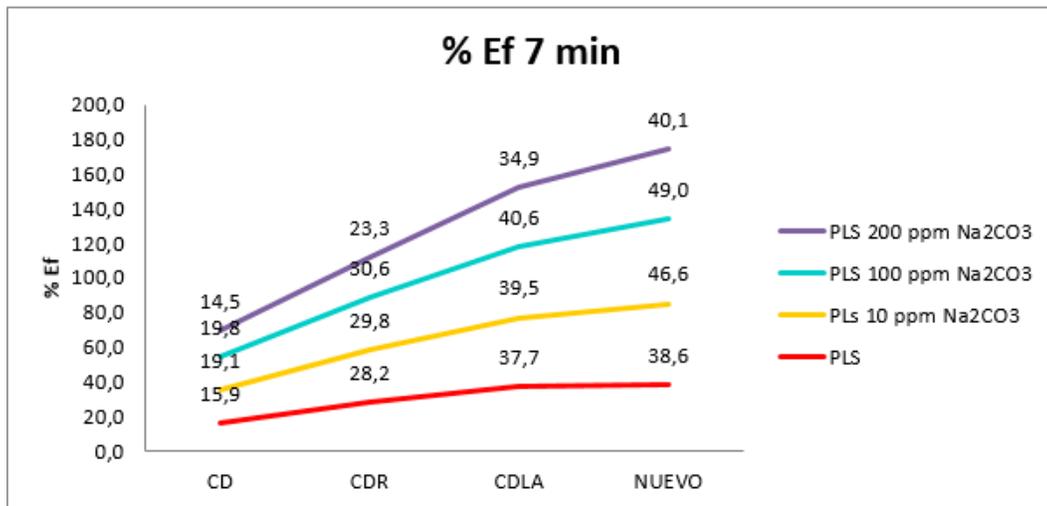


Figura 40. Porcentaje de extracción a diferentes concentraciones de percarbonato al tiempo de 7 minutos.

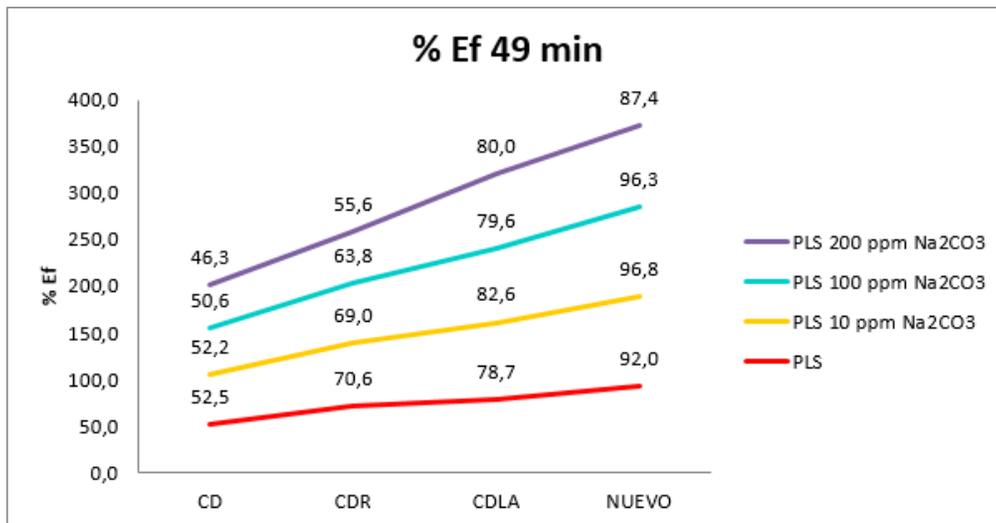


Figura 41. Porcentaje de extracción a diferentes concentraciones de percarbonato al tiempo de 49 minutos.

V.5 Actividad con solución sintética pH 11.41 vs. pH 10.5

En los resultados de solución sintética se observan diferencias no mayores al 3%, siendo el pH de 10.5 el más eficaz conforme a los resultados.

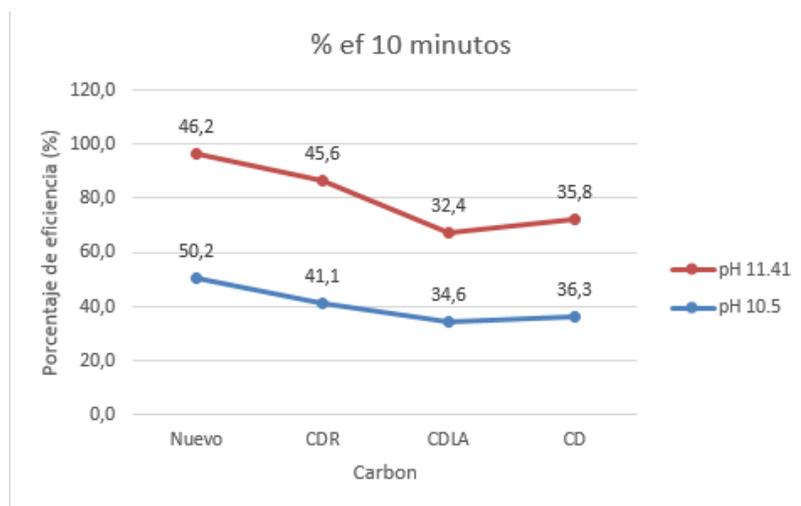


Figura 42. Porcentaje de eficiencia al tiempo de 10 minutos para prueba de actividad con solución sintética.

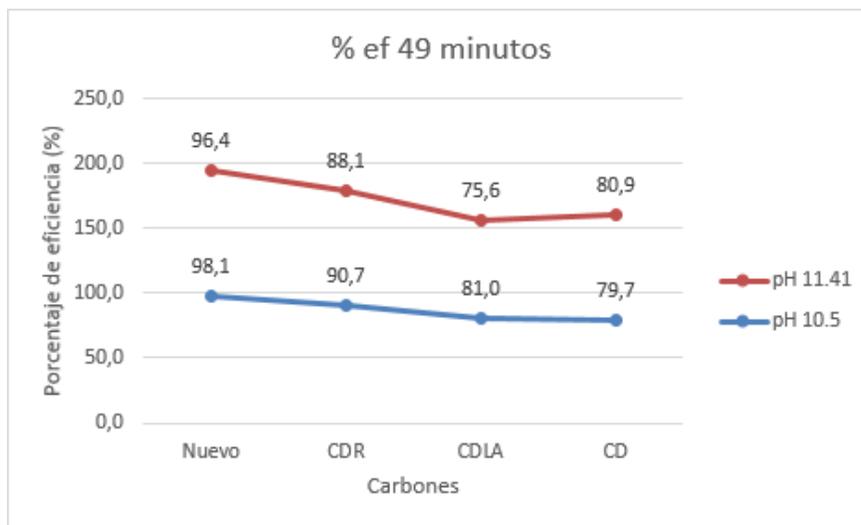


Figura 43. Porcentaje de eficiencia al tiempo de 49 minutos para prueba de actividad con solución sintética.

V.6 Actividades con solución proveniente de cola planta SART y cabeza ADR con 5 ppm antiincrustante

Los datos obtenidos no muestran una diferencia significativa en la adsorción las soluciones utilizadas, pero si una gran deficiencia en los diferentes tipos de carbones, esto puede deberse a las características que presenta cada carbón, ya sea el número de veces que ha pasado por el proceso, la presencia de sales en el carbón, entre otros factores.

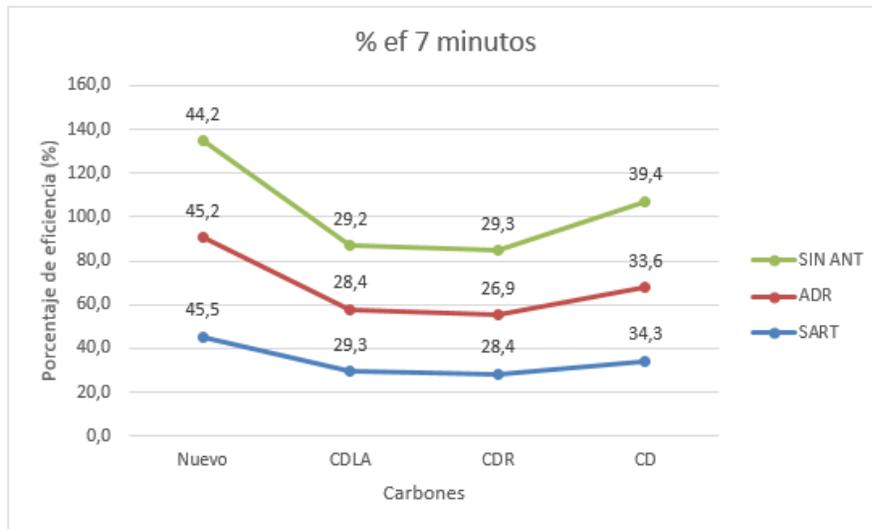


Figura 44. Eficiencia al tiempo de 7 minutos con solución proveniente de ADR, SART y sin antiincrustante.

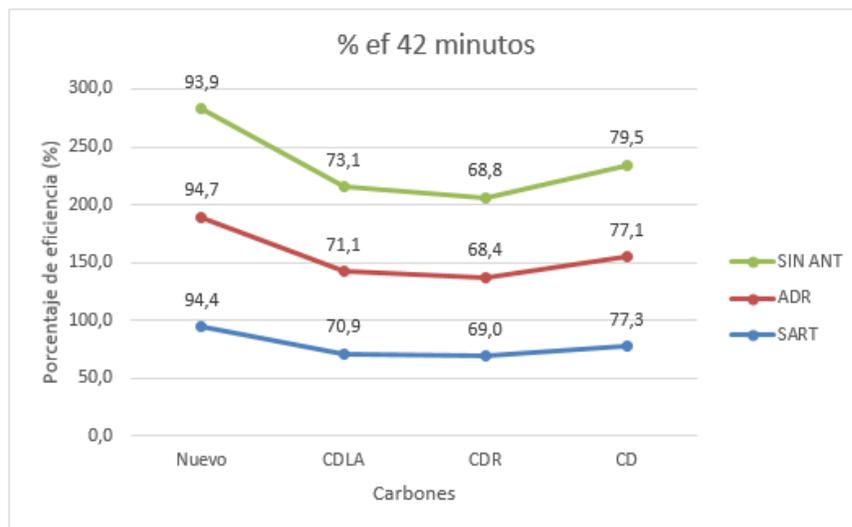


Figura 45. Eficiencia al tiempo de 42 minutos con solución proveniente de ADR, SART y sin antiincrustante.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1 CONCLUSIONES

El lavado ácido más eficiente fue con una concentración de 2%; es claro que la prueba que elimino mayor cantidad de carbonatos es a concentración de 7% pero provoco una destrucción del carbón debido a la alta concentración, por lo que en la valoración de actividad, los mejores resultados se obtuvieron en el carbón lavado al 2% HCl.

En despojo en frio la concentración optima es a 4000 ppm ya que al aumentar la concentración el índice de extracción se comporta repetitivo, lo que significaría mayor gasto de reactivo solo para purgar un 1.9% más de cobre, razón que no es redituable

Realizando una solución sintética para valorar condiciones libres de impurezas donde solamente se varia el pH, se concluye que el pH representa una pequeña variación en el porcentaje de extracción no mayores al 3%, resultando beneficioso utilizar pH de 10.5

Las pruebas realizadas que dieron resultados repetitivos pueden influir factores tales como los distintos componentes que puede tener el carbón o bien, que la variable que se desea estudiar no es necesario aplicar algún cambio considerable

Por otra parte, es satisfactorio poder apoyar en problemas que la industria tiene día con día, teniendo como ejemplo las pruebas descritas en esta memoria de prácticas, forjando al recién egresado en una persona competente para un puesto de trabajo, en donde nos percatamos que la industria minera apuesta por estudiantes que tengan capacidad de ser críticos y propongan ideas para la mitigación de problemas.

V.2 RECOMENDACIONES

- Se recomendó a planta implementar un lavado ácido a concentración de 2% HCl con la finalidad de aumentar la eficiencia de la planta
- Se recomienda realizar una segunda prueba de despojo en frío en concentraciones de 4000, 4500, 5000, 5500 con la finalidad de encontrar una concentración más óptima para este proceso.
- Dar oportunidad a nuevos practicantes de la carrera Ingeniería Metalúrgica porque un semestre no basta para concluir con pruebas metalúrgicas para la optimización de una planta, se propone realizar pruebas a nivel laboratorio tales como regeneración de carbón a diferentes temperaturas, actividad a carbones de diferente proveedor, entre otras.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] John O. Marsden & C. Iain House, 2006. Second Edition, The Chemistry of Gold Extraction
- [2] Joaquín Muñoz., 1986. La minería en México. Bosquejo histórico, Universidad Nacional Autónoma de México, Quinto Centenario, 11. Universidad Complutense de Madrid.
- [3] L. Guzman, M. Segarra, J.M Chimenos, P.L Cabot, F. Espiell., 1999. Electrochemistry of conventional gold cyanidation. Editoria PERGAMON. Pag. 2625 – 2632. [doi.org/10.1016/S0013-4686\(98\)00392-2](https://doi.org/10.1016/S0013-4686(98)00392-2)
- [4] John Rogans., 2012. ACTIVATED CARBON IN GOLD RECOVERY, Kemix (pty) Ltd. Page 3
- [5] Alfredo Romero, Carlos H. Sampaio., 1993. CHARACTERIZATION OF ACTIVATED CARBONS FOR THE EXTRACTIVE METALLURGY OF GOLD.
- [6] http://www.elaguapotable.com/tratamiento_de_olores_y_sabores.htm
- [7] http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/139/htm/sec_16.htm
- [8] http://www.academia.edu/12106438/PLANTA_DE_ADSORCION_DESO_RCI%C3%93N_Y_REACTIVACI%C3%93N_DE_CARB%C3%93N_ACTI_VADO

[9] Martínez Peñuñuri, 2012, Manual de operaciones, planta adsorción, desorción y reactivación (ADR) de la mina El Chanate

[10] <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/adsorcion-carbon-activado/>