

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA



**REMOCION DE LOS CARBONATOS Y CONTROL DE
INCRUSTACIONES EN UNA PLANTA DE CARBON ACTIVADO
PARA LA RECUPERACION DEL ORO**

INFORME DE SUFICIENCIA

**Para Optar el Titulo Profesional de:
INGENIERO METALURGISTA**

**Presentado por:
VICTOR JULIAN CCAHUANA ZAVALA**

**LIMA – PERU
2005**

TABLA DE CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN.	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO	4
CAPITULO II	
EFFECTO DE LOS CARBONATOS EN UNA PLANTA DE CARBÓN.	5
2.1 CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN SUS SALES MINERALES PRESENTES.	6
2.1.1 AGUAS DURAS.	6
2.1.2 AGUAS BLANDAS.	6
2.1.3 AGUAS NEUTRAS.	6
2.1.4 AGUAS ALCALINAS.	7
2.2 FACTORES QUE AFECTAN A LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES.	8
2.2.1 pH.	9
2.2.2 TEMPERATURA.	9
2.2.3 TURBULENCIA.	9
2.2.4 CAÍDAS DE PRESIÓN.	10
2.2.5 AIREACIÓN	10
2.2.6 MEZCLA DE AGUAS	10
2.3 EQUILIBRIO QUÍMICO DE LOS CARBONATOS	11

2.4	CONSECUENCIA DE LAS INCRUSTACIONES	15
2.4.1	BAJA EN LA PRODUCCIÓN	15
2.4.2	COSTOS POR PARADA DE PROCESO	15
2.4.3	REDUCCIÓN EN LA RECUPERACIÓN DEL ORO	15
2.4.4	DAÑO DE EQUIPOS	15
2.4.5	ALTOS COSTOS DE MANTENIMIENTO	15
2.5	OCURRENCIA DE LA CRISTALIZACIÓN DE CARBONATOS	16
2.6	MECANISMO PARA EL CONTROL DE LAS INCRUSTACIONES	17
2.6.1.	EFFECTO UMBRAL	17
2.6.2.	MODIFICACIÓN DE CRISTALES	18
2.6.3.	DISPERSIÓN	18
2.6.4.	ACOMPLEJAMIENTO	18

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES	21
3.1. ETAPA DE ADSORCIÓN	21
3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ETAPA DE ADSORCIÓN	22
3.2 ETAPA DE DESORCIÓN	24
3.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ETAPA DE DESORCIÓN	25
3.3. ETAPA DE LAVADO ÁCIDO	28
3.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ETAPA DE LAVADO ÁCIDO	28
3.4. REGENERACIÓN TÉRMICA	31

CAPITULO IV

TRABAJO EXPERIMENTAL	33
4.1 PLAN DE INVESTIGACIÓN.	33
4.2 PROCEDIMIENTO	36

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
5.1. RESULTADOS A NIVEL LABORATORIO.	38
5.2. RESULTADOS A NIVEL PLANTA.	40
5.3. OBSERVACIONES GENERALES DURANTE LAS PRUEBAS	46

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
6.1. CONCLUSIONES	47
6.2. RECOMENDACIONES	50

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
-----------------------------------	----

ANEXOS	53
ANEXO A1 ANÁLISIS DE CARBONATOS EN MUESTRA DE CARBÓN	54
ANEXO A2 ANÁLISIS DE CARBONATOS EN SOLUCIONES DE pH de 0 A 5	55
ANEXO A3 ANÁLISIS DE CARBONATOS EN SOLUCIONES DE pH de 7 A 10	56
ANEXO B1 PROCESO ZADRA	57
ANEXO B2 PROCESO ZADRA PRESURIZADO	58
ANEXO B3 PROCESO CON ALCOHOL	59
ANEXO B4 PROCESO ANGLO AMERICAN	60

LISTA DE TABLAS

		Página
TABLA 2.1	SOLUBILIDAD DE LAS PRINCIPALES SALES	7
TABLA 2.2	CONSTANTE DE SOLUBILIDAD DE LA CALCITA Y ARAGONITA.	11
TABLA 4.1	PARÁMETROS CON LOS QUE NORMALMENTE TRABAJA LA PLANTA DE CARBÓN.	34
TABLA 4.2	PARÁMETROS CON LOS QUE SE REALIZARON LAS PRUEBAS EN LA PLANTA DE CARBÓN	35
TABLA 5.1	RESULTADOS EXPERIMENTALES QUE SE OBTUVIERON EN LABORATORIO	38
TABLA 5.2	LEYES DE SOLUCIÓN PREGNANT Y % RECUPERACIÓN DEL Au	40
TABLA 5.3	RESULTADOS DE CO ₃ EN LOS PUNTOS DE MONITOREO.	40
TABLA 5.4	DATOS PROMEDIOS DE MONITOREO DE CARBÓN CON LAVADO ÁCIDO Y DRENAJE	42
TABLA 5.5	EFICIENCIA DE ADSORCIÓN EN LA QUINTA COLUMNA CON RESPECTO A LOS CARBONATOS PRESENTES EN EL CARBÓN.	43
TABLA 5.6	CARBONATOS PRESENTES EN LA SOLUCIÓN EN LA ETAPA DE ADSORCIÓN.	44
TABLA 5.7	CARBONATOS PRESENTES EN EL CARBÓN EN LA ETAPA DE DESORCIÓN.	44

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 2.1 ESQUEMA DEL PROCESO DE INCRUSTACIÓN DE CARBONATOS Y EL EFECTO DEL ANTINCRUSTANTE.	19
FIGURA 2.2 ESTRUCTURA DEL CARBÓN ACTIVADO Y EL EFECTO DE LOS CARBONATOS.	20
FIGURA 3.1 ESQUEMA DE LA ETAPA DE ADSORCIÓN DE LA PLANTA DE CARBÓN DE YANACOCHA NORTE.	23
FIGURA 3.2 ESQUEMA DE LA ETAPA DE DESORCIÓN DE LA PLANTA DE CARBÓN DE YANACOCHA NORTE (PARTE 1)	26
FIGURA 3.3 ESQUEMA DE LA ETAPA DE DESORCIÓN DE LA PLANTA DE CARBÓN DE YANACOCHA NORTE (PARTE 2)	27
FIGURA 3.4 ESQUEMA DE LA ETAPA DE LAVADO ÁCIDO EN LA PLANTA DE CARBÓN DE YANACOCHA NORTE.	30
FIGURA 3.5 ESQUEMA DE LA ETAPA DE REGENERACIÓN TÉRMICA EN LA PLANTA DE CARBÓN DE YANACOCHA NORTE	32
FIGURA 4.1 ESQUEMA DE LAVADO ÁCIDO USADO EN LAS PRUEBAS EN PLANTA.	37
FIGURA 5.1 RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD DE ADSORCIÓN Y EFICIENCIA DE LAVADO.	39
FIGURA 5.2 REMOCIÓN DE LOS CARBONATOS CON O SIN LAVADO ÁCIDO	41

FIGURA 5.3	EFFECTO DE LOS CARBONATOS DRENANDO LA SOLUCIÓN DEL TANQUE DE MEZCLA LUEGO DEL LAVADO ÁCIDO.	42
FIGURA 5.4	EFICIENCIA DE ADSORCIÓN EN LA QUINTA COLUMNA CON RESPECTO A LOS CARBONATOS PRESENTES EN EL CARBÓN.	43
FIGURA 5.5	BALANCE DE CARBONATOS	45

AGRADECIMIENTO

A mis Padres Víctor y Emigdia, por su amor, comprensión y apoyo constante en mi desarrollo profesional y personal. Su ejemplo de la calidad de personas y padres lo tendré siempre presente en mi vida.

A mi hermano Ivan por su apoyo y sacrificio, durante mi etapa universitaria.

A mis profesores de la Universidad Nacional de Ingeniería, por sus enseñanzas y consejos impartidos durante mi etapa universitaria, los cuales siempre estarán presentes en mi desarrollo profesional.

A mis compañeros y amigos de la Universidad Nacional de Ingeniería, por las alegrías, lo vivido y aprendido. En especial a mi amigo Cristián Dextre Ch.

Víctor Julián Ccahuana Zavala

RESUMEN

El presente trabajo esta básicamente centrado en la optimización de la etapa de lavado ácido para la remoción de carbonatos y al control de la formación de las incrustaciones. Para tal efecto se realizarón pruebas a nivel laboratorio y posteriormente en planta.

La Planta de Carbón de Yanacocha Norte, empezó sus operaciones en el año 2002. Las pruebas en planta que se citan en el presente informe fueron desarrolladas en año 2003.

Los resultados de estas pruebas nos llevaron a optimizar la concentración de HCl a 3.7%, adición de antiincrustantes de 3 ppm en la etapa de adsorción y 30 ppm en la etapa de desorción. El contenido de CO_3 del agua utilizada en el proceso presenta entre 900 a 1000 ppm de CO_3 .

Al final del lavado ácido en el tanque de mezcla la solución presenta 15000 y 30000 ppm de CO_3 por lo cual se tomo la decisión de drenar el tanque de mezcla de ácido y reemplazar dicha solución con el agua del proceso. Pese a que el agua del proceso presenta contenidos de carbonatos

estos son menores a los que presenta la solución al final del lavado ácido en el tanque de mezcla.

No se utilizó el sistema ablandador de agua y el proceso de regeneración por problemas y fallas. Al final de la etapa de desorción se observa un incremento de carbonatos en el carbón activo. Motivo por el cual se agrega antiincrustante en esta etapa. Se observó que los carbonatos aumentaban en el carbón activado por el mayor contacto tenían con el agua como sucede en el tanque separado.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La primera vez que se empleó columnas de carbón para la recuperación del oro fue en la mina Yuami, en Australia en el año de 1916. El problema de este proceso era de encontrar un método efectivo para la desorción del oro, en tal sentido se hicieron muchos trabajos de investigación, principalmente en Sudáfrica y en Australia.

En el año de 1950 J.B. Zadra del U.S. Bureau of Mines en Reno desarrolló un proceso de desorción, que permitía la regeneración del carbón activado y finalmente la recuperación electrolítica del oro [1]. Desde entonces el uso del carbón activado para la recuperación de valores metálicos comienza a desarrollarse especialmente en la etapa de desorción apareciendo nuevas tecnologías tales como Método Zadra Modificado con

Presión, Método Zadra Modificado con Alcohol, Método Anglo-American con Presión, etc. (anexos B1, B2, B3 y B4).

El uso de plantas de carbón activado en el Perú, para la recuperación del oro a partir de soluciones cianuradas, empieza a partir del año de 1994 en la Cia. Minera Aurífera Santa Rosa S.A.

En la actualidad las empresas mineras que poseen planta de carbón son: Minera Yanacocha S.R.L., Cia. Minera Aurifera Santa Rosa S.A., Cia Minera San Simón S.A., Cia. Minera Misti Gold S.A.C., Chancadora Centauro S.A.C. Estas plantas tienen las características de tener una etapa de adsorción en columna seguido de una segunda etapa de desorción que puede ser Angloamericano con Presión ó Sistema de desorción con Alcohol, son los más usados en la actualidad. A estas etapas de adsorción y desorción del oro hay que sumarles la etapa de regeneración del carbón activado que consiste en una reactivación química por lo general con HCl diluido (3 a 5%) y reactivación térmica.

El uso del carbón activado se ha hecho muy extendido por las ventajas que presenta en de tener un área superficial que aproximadamente es de $1000 \text{ m}^2/\text{gr}$. y el bajo costo que representa en recuperar el oro en un proceso con carbón activado para soluciones de baja ley de aproximadamente 1 ppm de Au.

En la práctica, las plantas de carbón presentan principalmente dos problemas que son la generación de finos debido a la atricción producida y el de los carbonatos presentes en el proceso que originan incrustaciones, siendo este último materia del presente trabajo.

La presencia de carbonatos origina las incrustaciones en las tuberías, bombas, intercambiadores de calor, taponeo de la superficie activa del carbón quitándole poder de adsorción con el oro.

En el caso de las incrustaciones para retardar la velocidad de cristalización de la calcita o modificar su estructura cristalina en Aragonita que viene a ser también un carbonato de calcio más soluble se usan antincrustantes los cuales tienen la función de inhibir, neutralizar y remover los carbonatos.

En cuanto a los carbonatos que se depositan en el carbón activado estos son removidos en la etapa de lavado ácido con ácido nítrico o clorhídrico. El ácido que se usa por lo general es el ácido clorhídrico diluido entre 3% a 5%.

1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

Determinar el efecto de los carbonatos en el proceso.

Optimización de la etapa de lavado ácido.

Determinar la eficiencia de la etapa de lavado ácido con respecto al proceso sin lavado ácido.

Evaluar la mejora de la eficiencia de adsorción con la etapa de lavado ácido.

Evaluar el efecto del antincrustante.

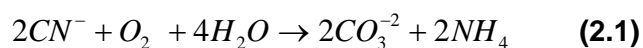
CAPITULO II

EFFECTO DE LOS CARBONATOS EN UNA PLANTA DE CARBÓN

En todos los sectores de producción industrial se utiliza agua, pero ninguno de ellos esta exento de los efectos de sus componentes naturales. En el caso de la lixiviación del oro, el uso de la cal para regular el pH es insustituible en la actualidad por el bajo costo que representa.

El empleo de la cal origina la presencia de iones Ca^{+2} y en menor proporción los iones Mg^{+2} en la solución cianurada que circula en todo el proceso metalúrgico, los cuales van a reaccionar con el CO_3^{-2} para formar CaCO_3 y MgCO_3 . En la planta de carbón, el CaCO_3 es el que va originar incrustaciones y taponamiento del carbón activado.

Alternativamente, los iones carbonatos pueden ser formados por la oxidación de cianuro en la superficie del carbón, según las siguientes reacciones:



2.1 CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN LAS SALES MINERALES PRESENTES [8]

Las aguas pueden considerarse según la composición de sales minerales presentes:

2.1.1 Aguas Duras: Importante presencia de compuestos de calcio y magnesio, poco solubles, principales responsables de la formación de depósitos e incrustaciones.

2.1.2 Aguas Blandas: Su composición principal esta dada por sales minerales de gran solubilidad.

2.1.3 Aguas Neutras: Componen su formación una alta concentración de sulfatos y cloruros que no aportan al agua

tendencias ácidas o alcalinas, o sea que no alteran sensiblemente el valor del pH.

2.1.4 Aguas Alcalinas: Las forman las que tienen importantes cantidades de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio, las que proporcionan al agua reacción alcalina elevando en consecuencia el valor del pH.

Tabla 2.1 Se presentan las solubilidades de las principales sales en donde podemos apreciar que el CaCO_3 y MgCO_3 son los menos solubles. [9] [10]

Solubilidades en agua de algunas sales a 20 ⁰ c , en gramos / litro	
CaCO_3	0.01
MgCO_3	0.1
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.4
Na_2CO_3	71
KNO_3	150
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	195
MgSO_4	262
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	262

Según la clasificación señalada, la que mayor atención concita, es la del agua dura. Nos referimos principalmente a la presencia de iones disueltos (partículas sólidas con carga eléctrica neta), en especial iones de calcio [Ca^{+2}] y iones de magnesio [Mg^{+2}] cuyas cargas netas son positivas (cationes).

La carga positiva de estos cationes sólidos se balancea con la presencia de aniones (con carga neta negativa), de los cuales los más influyentes son los bicarbonatos $[\text{HCO}_3^-]$ y los carbonatos $[\text{CO}_3^{2-}]$. Estos aniones tienen su origen en el dióxido de carbono $[\text{CO}_2]$ disuelto naturalmente en el agua.

Los iones con cargas netas opuestas intervienen en un buen número de fenómenos químicos, entre ellos la cristalización (origen de las incrustaciones) y reacciones electroquímicas de oxidación (origen de la corrosión galvánica).

Ambos procesos ocurren de forma espontánea siempre que participen en el sistema compuestos salinos, agua, oxígeno disuelto, un medio ácido, y la superficie metálica propensa a recibir las incrustaciones y a corroerse.

2.2 FACTORES QUE AFECTAN LA FORMACIÓN DE INCRUSTACIONES

Los factores que afectan a la formación de incrustaciones se citan a continuación:

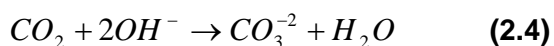
2.2.1 pH

Los altos valores de pH favorecen el incremento de los niveles de dióxido de carbono, disminuyen la solubilidad del carbonato de calcio, y fuerzan el equilibrio hacia la formación de los iones carbonato.

La disolución de CO₂ en aguas de alto pH esta dado por la siguiente reacción química:



Reacción Neta:



2.2.2 Temperatura

Altas temperaturas originan la precipitación del carbonato de calcio y consecuentemente la formación de incrustaciones. Esto debido a la relación inversa que existe entre la temperatura/solubilidad.

2.2.3 Turbulencia

Áreas de alta turbulencia causan nucleación, crecimiento acelerado de cristales y posterior formación de incrustaciones. En lo que concierne a la planta de carbón el flujo de la solución cianurada es

laminar. Raras veces veremos un flujo turbulento consecuencia de la inestabilidad del régimen laminar debido a perturbaciones de causas externas al movimiento del fluido como efectos térmicos con variaciones de densidad.

2.2.4 Caídas de Presión

Una rápida caída de presión desestabiliza al sistema acuoso, causando un proceso de nucleación, crecimiento de cristales y posterior incrustación.

2.2.5 Aireación

La aireación de sistemas acuosos incrementan el potencial de la formación de incrustaciones, debido al incremento del dióxido de carbono y subsecuentemente formación de carbonato.

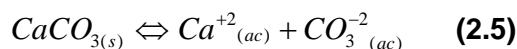
2.2.6 Mezcla de Aguas

Mezclas de aguas pueden proporcionar un adicional de calcio o carbonato en el medio u otras especies cuyo resultado puede ocasionar una condición de inestabilidad en agua y consecuentemente formación de incrustaciones.

2.3 EQUILIBRIO QUÍMICO DE LOS CARBONATOS. [10] [11] [12]

Las sales poco solubles de carbonatos saturan el agua. La forma cristalina del carbonato de calcio se presentan en calcita (estructura hexagonal) y aragonita (estructura ortorrómbica). La calcita es la más estable y por lo tanto la menos soluble.

Si consideramos que el equilibrio se alcanza únicamente con los iones provenientes del carbonato de calcio que se logra disolver tendremos las siguientes consideraciones:



$$Kps = [Ca^{+2}] \cdot [CO_3^{-2}]$$

Tabla 2.2 Se presentan las constantes de solubilidad (K_{ps}) y solubilidad de la calcita y aragonita. (Tomados del manual Critical Stability Constants de Martell A.E. y Smith R.M., Vol 4, Plenum Press, New York).

$$Kps_{(Calcita)} = 4.5 \times 10^{-9}$$

La solubilidad de la Calcita es 6.71 mg de Calcita por litro de solución.

$$Kps_{(Aragonita)} = 6.0 \times 10^{-9}$$

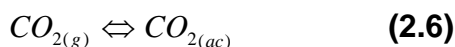
La solubilidad de la Aragonita es 7.75 mg de Aragonita por litro de solución.

Donde :

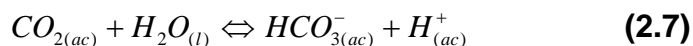
Kps : C

Kps : Constante de Solubilidad

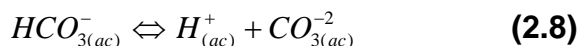
Para la determinación de la constante de equilibrio se cita las siguientes reacciones químicas con sus respectivas constantes de equilibrio:



$$K_{CO_2} = 3.4 \times 10^{-2}$$



$$K_1 = 4.4 \times 10^{-7}$$

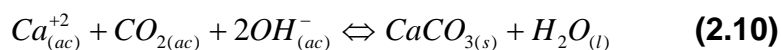


$$K_2 = 4.7 \times 10^{-11}$$



$$K_W = 1.0 \times 10^{-14}$$

De las ecuaciones: (2.5), (2.6), (2.7), (2.8), (2.9), tendremos en el equilibrio químico la siguiente reacción:



$$K_{EQ} = \frac{K_{CO_2} \times K_1 \times K_2}{K_{PS} \times K_W^2}$$

Donde:

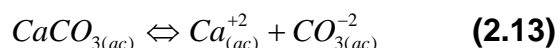
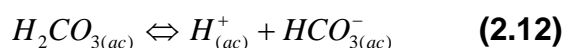
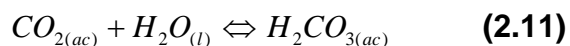
KEQ: Constante de Equilibrio

$$KEQ_{(Calcita)} = 1.56 \times 10^{18}$$

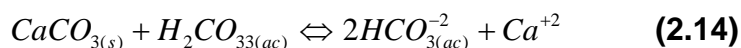
$$KEQ_{(Aragonita)} = 1.17 \times 10^{18}$$

Uno de los factores importantes para el control de la solubilidad del carbonato de calcio esta dado por la concentración de iones hidrogeno (pH),

el cual es controlado por la presión parcial del bióxido de carbono de acuerdo a las siguientes reacciones:



De las ecuaciones: (2.9), (2.10), (2.11), tenemos la siguiente reacción:



De la ecuación 2.14, se muestra que el bióxido de carbono es el responsable de la disolución en agua de la Calcita y Aragonita o de prevenir su formación.

La disolución del dióxido de carbono en agua, con formación de ácido carbónico (2.11), tiene un efecto directo sobre la solubilidad y mantenimiento en disolución del bicarbonato de cálcico.

El dióxido de carbono se hidrata, dando lugar al ácido carbónico que, asu vez, se disocia dando lugar a la formación de iones bicarbonato según las ecuaciones 2.11 y 2.12.

La suma del dióxido de carbono disuelto (CO_2) más el ácido carbónico no disociado (H_2CO_3) se denomina ácido carbónico libre.

A fin de que en el agua se mantengan los bicarbonatos en disolución y no se precipiten provocando la incrustación, es necesaria la presencia de ácido carbónico no disociado, que desplace hacia la derecha a la reacción de equilibrio (2.14).

Al ácido carbónico no disociado necesario para mantener en disolución a los bicarbonatos y evitar su precipitación, se le denomina ácido carbónico equilibrante.

De acuerdo con este equilibrio, las aguas serán inertes cuando están en equilibrio, incrustantes cuando el contenido de ácido carbónico equilibrante es inferior al de las condiciones de equilibrio determinadas por el pH y la temperatura, y agresivas, cuando el ácido carbónico libre está por encima del equilibrio para mantener las condiciones de solubilidad de los bicarbonatos.

2.4 CONSECUENCIA DE LAS INCRUSTACIONES

2.4.1 Baja en la producción

Reducción de flujos debido al incrustamiento de bombas, líneas, intercambiadores de calor.

2.4.2 Costos por parada de proceso

Las líneas que han sido bloqueadas o parcialmente bloqueadas deben ser objeto de paradas no previstas, que estará supeditada al tiempo que demande limpiar o reemplazar líneas.

2.4.3 Reducción en la recuperación del Oro

Ensuciamiento del carbón activado afectan la eficiencia de adsorción del oro. En la tabla 4.7 se puede ver el efecto de los carbonatos a medida que van incrementando y ensuciando el carbón activado la eficiencia de adsorción va disminuyendo.

2.4.4 Daño de equipos

En una planta de carbón básicamente pueden dañar las partes de una bomba y los intercambiadores de calor.

2.4.5 Altos costos de mantenimiento

- Reemplazo, reparación y limpieza de líneas, bombas, etc
- Más regeneración del carbón.

2.5 OCURRENCIA DE LA CRISTALIZACIÓN DE CARBONATOS [10]

La cristalización ocurre bajo condiciones muy comunes en muchos campos de aplicación:

- 2.5.1** Sobresaturación de iones sólidos en solución (mayor cantidad de lo que la solución admite en estado de equilibrio).
- 2.5.2** Nucleación inicial de cristales debido a la combinación de iones de la solución con iones no pertenecientes a la fase líquida.
- 2.5.3** Crecimiento de cristales por propio enlace iónico con otras sales precipitadas.
- 2.5.4** Otros factores como incrementos bruscos de temperatura, turbulencia en el sistema, naturaleza y estado de la superficie en contacto con la solución y presencia de otras impurezas.

La cristalización de iones en solución, bajo las condiciones mencionadas produce la formación de compuestos iónicos, como sales de calcio y de magnesio, de gran dureza y con fuerte capacidad de adherencia a las superficies de tuberías, circuitos y en especial a zonas de transferencia de calor.

Las incrustaciones están compuestas fundamentalmente por calcita en mayor proporción y por aragonita en menor proporción. Ambos son carbonatos de calcio con igual composición química, aunque distinta estructura cristalina, físicamente hablando la calcita tiene una capacidad incrustante holgadamente superior frente a la aragonita.

En el caso de las plantas de carbón la presencia de los carbonatos en la solución cianurada es debido al uso de cal en la lixiviación del oro, por lo cual la predominancia del carbonato de calcio es la más resaltada en este proceso.

Las incrustaciones en la planta de carbón se deben básicamente a los cambios de pH y temperatura debidos básicamente a las etapas de lavado ácido y de desorción en donde se presentan estos aspectos.

2.6 MECANISMOS PARA EL CONTROL DE LAS INCRUSTACIONES

2.6.1 Efecto Umbral

Consiste en retardar la formación de la sal incrustante, por los centros activos del cristal. La estabilización ocurre cuando las moléculas del químico se adsorben sobre los finos núcleos del cristal.

2.6.2 Modificación de Cristales

El proceso de estabilización ocurre cuando las moléculas del químico se adsorben sobre las moléculas del químico se adsorben sobre la estructura cristalina. Es decir la estructura cristalina de los carbonatos es alterada y evita a que sigan precipitando.

2.6.3 Dispersión

A través de una repulsión de cargas resultante se evita la aglomeración de los sólidos suspendidos sobre las superficies. Los depósitos son mantenidos libremente a través del sistema, para ser evacuados mediante purga.

2.6.4 Acomplejamiento

El acomplejamiento involucra la formación de complejos químicos soluble.

DESARROLLO NORMAL DE LOS CRISTALES DE CaCO₃
SIN ANTIINCRUSTANTE

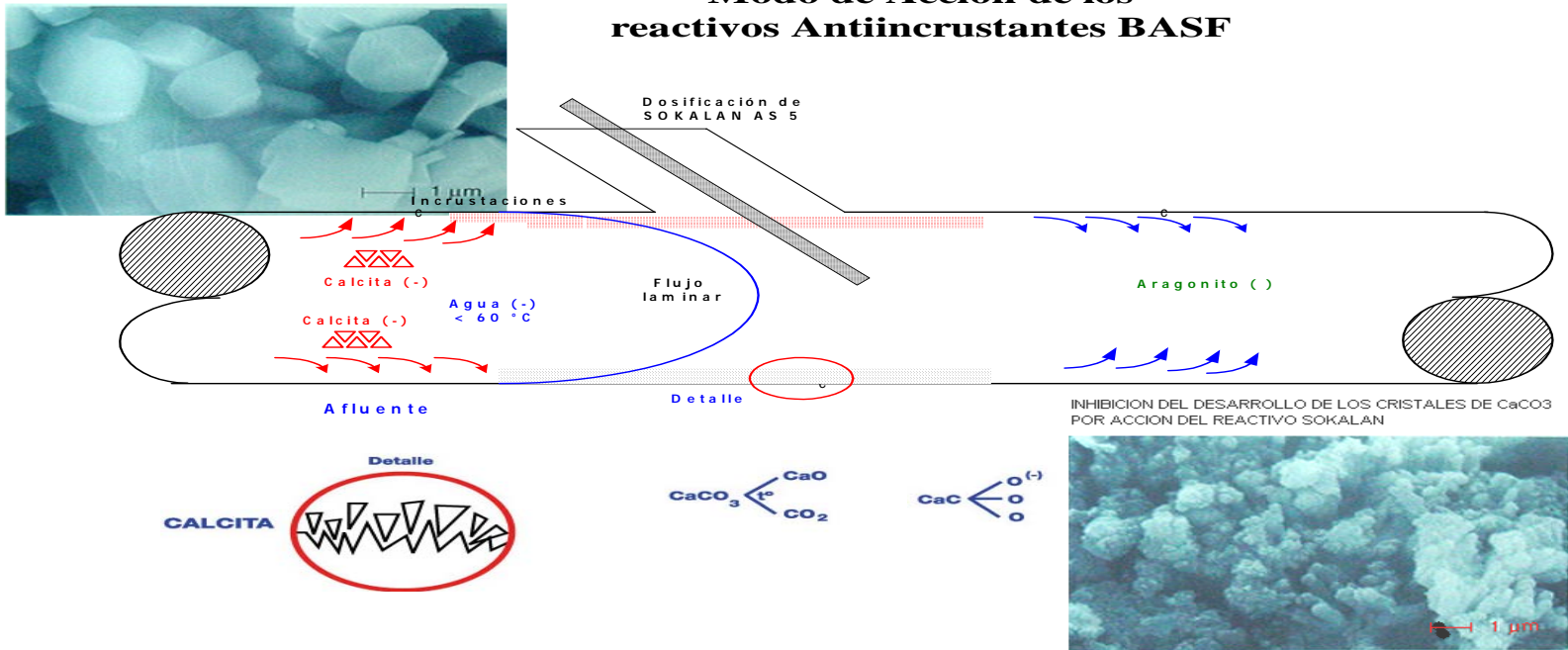


FIGURA 2.1 ESQUEMA DEL PROCESO DE INCRUSTACION DE CARBONATOS Y EFECTO DEL ANTINCRUSTANTE

Se observa como el CaCO₃ en la forma de Calcita va precipitando por acción del contacto de los iones Ca⁺² con el CO₃⁻² producto de la disolución del CO₂. Por otro lado se observa el efecto del antiincrustante para retardar la velocidad de cristalización y cambiar la estructura del CaCO₃ en la forma de Aragonita que es una estructura más soluble que la Calcita

Solución con
 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$

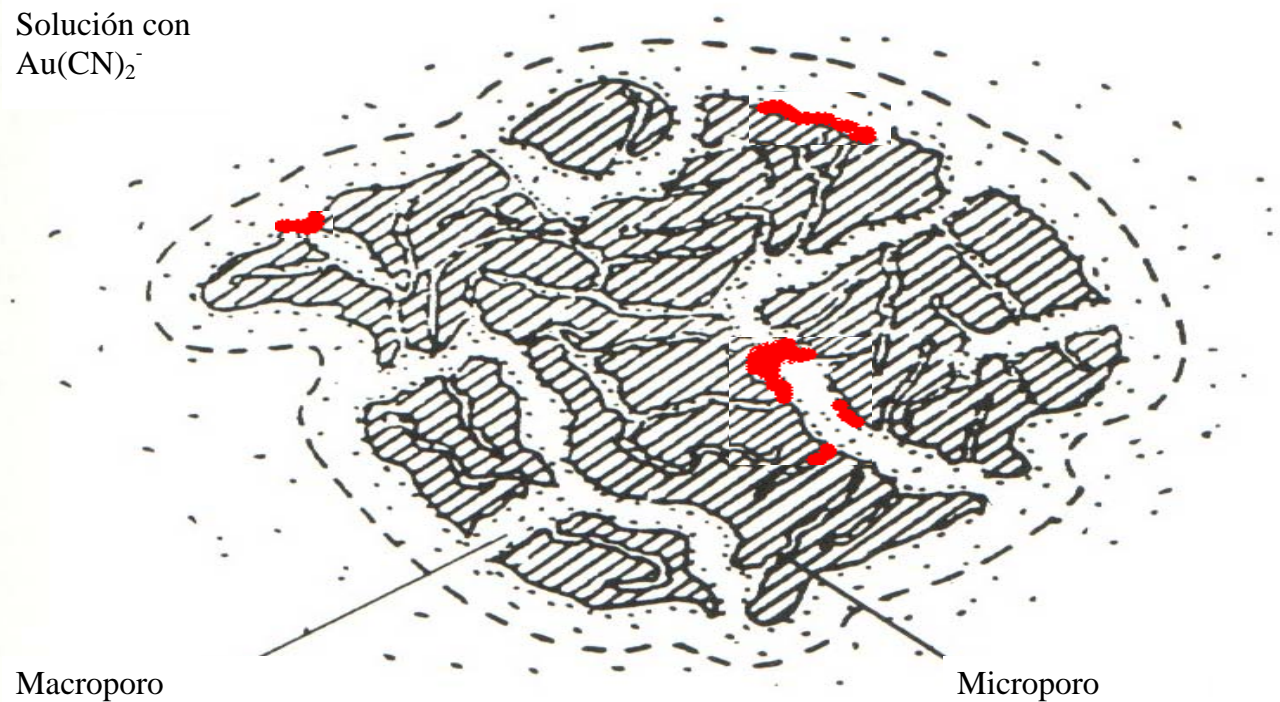


FIGURA 2.2 ESTRUCTURA DEL CARBÓN ACTIVADO Y EL EFECTO DE LOS CARBONATOS

Se observa como los carbonatos se depositan dentro del carbón en los microporos y macroporos. Obstruyendo y tapando las cavidades de entrada del carbón para la adsorción del Au. Se debe señalar que la mayor capacidad de adsorción dentro del carbón activado se produce en los microporos.

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES

3.1 ETAPA DE ADSORCIÓN

Existen tres formas para la adsorción del oro en solución con el carbón activado.

- Carbón en Columna (CIC)
- Carbón en Pulpa (CIP)
- Carbón en lixiviación (CIL)

El sistema de adsorción utilizado en Yanacocha es de Carbón en Columna (CIC) que consiste en la fluidización en forma ascendente en serie de columnas en cascada y en contra corriente la solución con el carbón activado.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ETAPA DE ADSORCIÓN

La etapa de adsorción consta de tres trenes de cinco columnas cada tren. Cada columna esta cargada con 2.5 TM de carbón activado. En la figura 3.1 se puede apreciar el esquema correspondiente a un tren de columnas. El tiempo de adsorción es de aproximadamente de 60 horas.

El flujo que se trata en la etapa de adsorción es de 1300 m³/hr con una ley de 1 a 1.2 ppm de Au. La eficiencia de adsorción promedio por lo general era de 90%. Luego de las pruebas de optimización se logro alcanzar una eficiencia de aproximadamente 93%. El carbón cargado sale con 3 a 4 Kg. Au / TM carbón.

Los carbonatos de la solución pregnant que ingresan a la etapa de adsorción presentan una concentración promedio de 660 ppm y la solución barren saliente aproximadamente 663 ppm esto con adición de antincrustante.

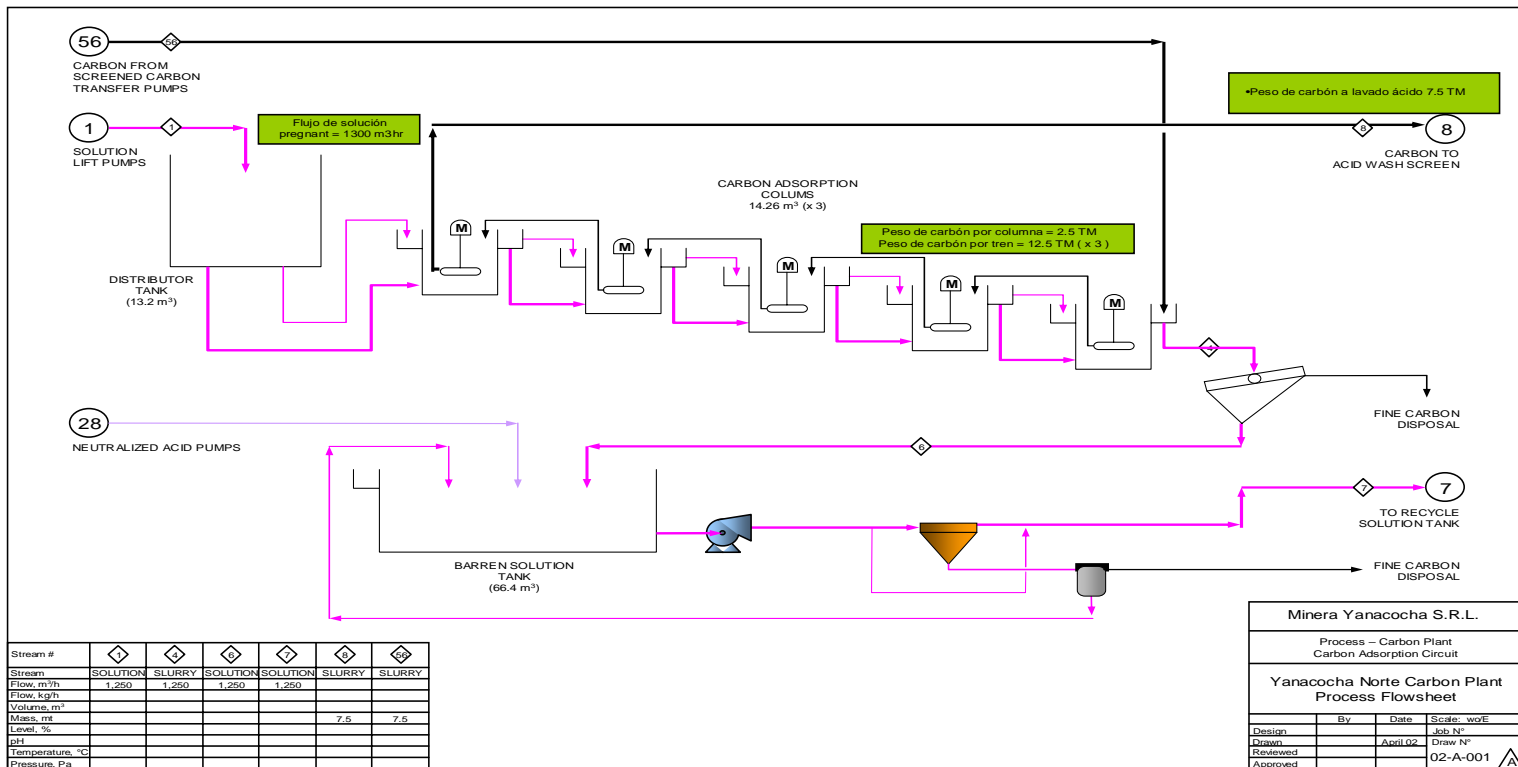


FIGURA 3.1 ESQUEMA DE LA ETAPA DE ADSORCION DE LA PLANTA DE CARBON DE YANACOCCHA NORTE

En el esquema presentado se observa que la solución pregnant ingresa a partir del tanque distribuidor y luego sigue su curso de la primera columna hacia la quinta columna. El carbón activado ingresa a partir de la quinta columna y es transferido columna por columna hasta la primera columna en donde sale un carbón activado cargado con contenidos metálicos de Au.

3.2 ETAPA DE DESORCIÓN

Existen diversos métodos para recuperar el oro y la plata del carbón activado cargado durante el proceso de adsorción. Los principales métodos empleados en la etapa de desorción son:

- Proceso Zadra
- Proceso de Extracción con Alcohol
- Proceso Zadra Presurizado
- Proceso Anglo Americano

El detalle de los procesos mencionados se cita en los anexos B1, B2, B3 y B4.

El proceso utilizado en Yanacocha es el proceso Angloamericano con presión, que consiste en el remojo del carbón cargado con una solución fuerte de NaCN y de Hidróxido de Sodio (NaOH). Esto ocurre en un reactor presurizado, en donde se aumenta la presión a 35PSI y a una temperatura de 120°C.

La solución enriquecida posteriormente se recupera por precipitación con polvo de zinc en la planta de Merrill Crowe.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ETAPA DE DESORCIÓN

Consta de dos reactores. Cada reactor puede tratar 7.5 TM carbón a una temperatura de desorción de 120°C.

El pre acondicionamiento es de 45 minutos con 5%NaCN y 1.5%NaOH. El flujo de recirculación es de 18 m³ a 27 m³. Tiempo de desorción de 8 hr. Solución rica promedio 450 ppm Au.

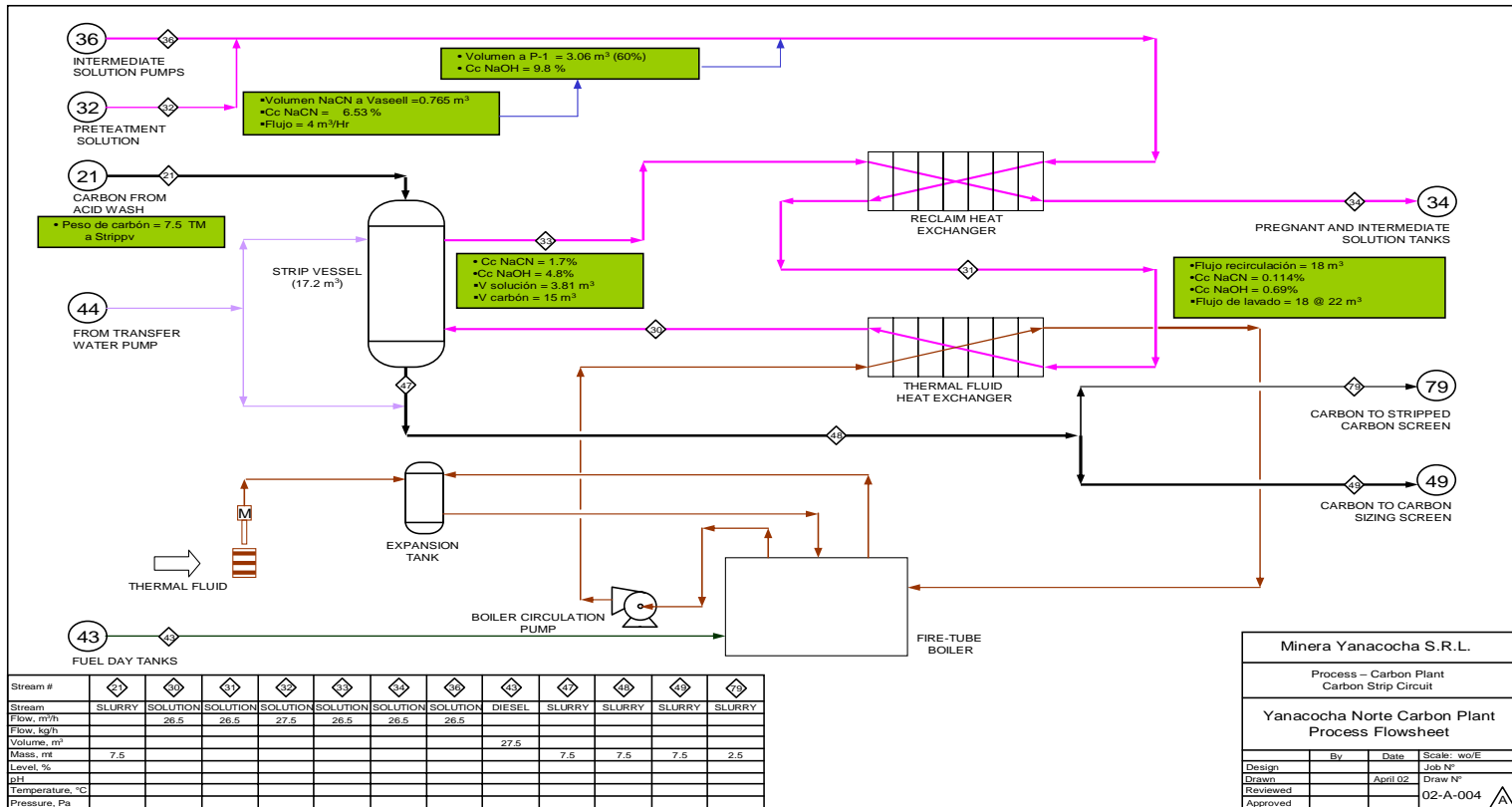


FIGURA 3.2 ESQUEMA DE LA ETAPA DE DESORCION DE LA PLANTA DE CARBON DE YANACOCCHA NORTE (PARTE 1)

La desorción ocurre en el reactor con capacidad para desorver el Au de 7.5 TM de carbón. La desorción ocurre aproximadamente a 120°C . La solución recirculante es de 18 a 27 m³.

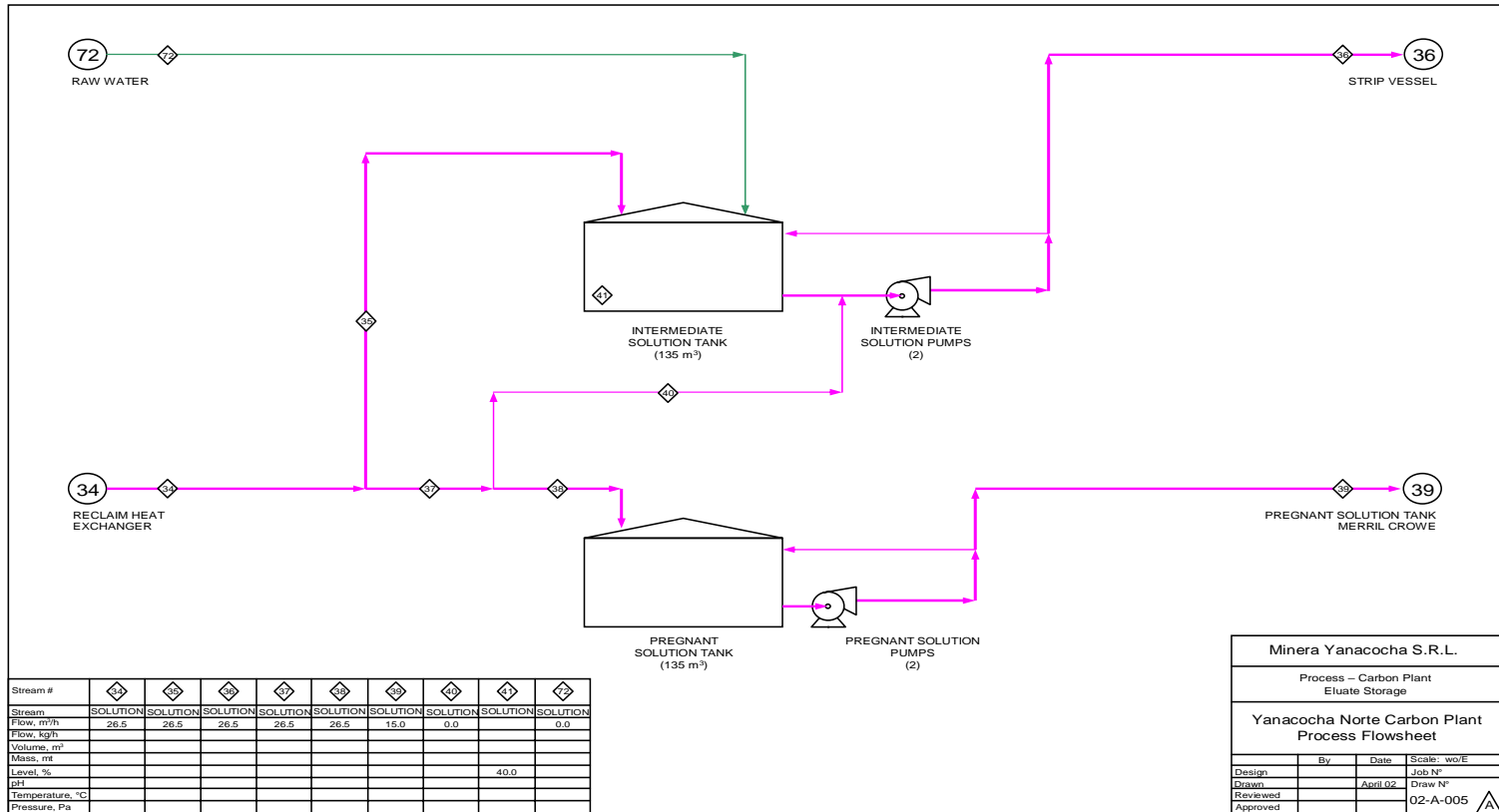


FIGURA 3.3 ESQUEMA DE LA ETAPA DE DESORCION DE LA PLANTA DE CARBON DE YANACOCCHA NORTE (PARTE 2)

Se observa el tanque de solución intermedia en donde recircula la solución que se va desorbiendo y posteriormente la solución rica desorbida pasa al tanque de solución rica que luego es enviada a la planta de Merrill Crowe.

3.3 ETAPA DE LAVADO ÁCIDO

Esta parte de la operación corresponde a la etapa de tratamiento del carbón activado, con el objetivo de devolverle sus propiedades físicas originales con el fin de poder usarlo nuevamente en el proceso.

Con el Lavado ácido, se remueve los carbonatos adheridos a la superficie del carbón producto de la dureza del agua, los cuales obstruyen los poros intergranulares para la adsorción del oro.

Para atenuar este efecto se utiliza solución diluida de ácido clorhídrico de 3% a 5%, ingresando la solución en contracorriente al lecho de carbón activado. Posterior a este lavado, se enjuaga al carbón con abundante agua fresca y el ácido remanente es neutralizado.

3.3.1 CARACTERÍSTICA DE LA ETAPA DE LAVADO ÁCIDO

Se pueden tratar entre (7.5 a 15) TM de carbón en el tanque de lavado ácido.

La concentración del HCl es de 3 a 5 %.

El pH de inicio es 0.5 a 0.8 y el pH final es de 1.0 a 1.5.

El flujo de recirculación es de 18 m³ y el tiempo de lavado es de 3 horas

La cantidad de carbonatos es variable de acuerdo las condiciones operacionales.

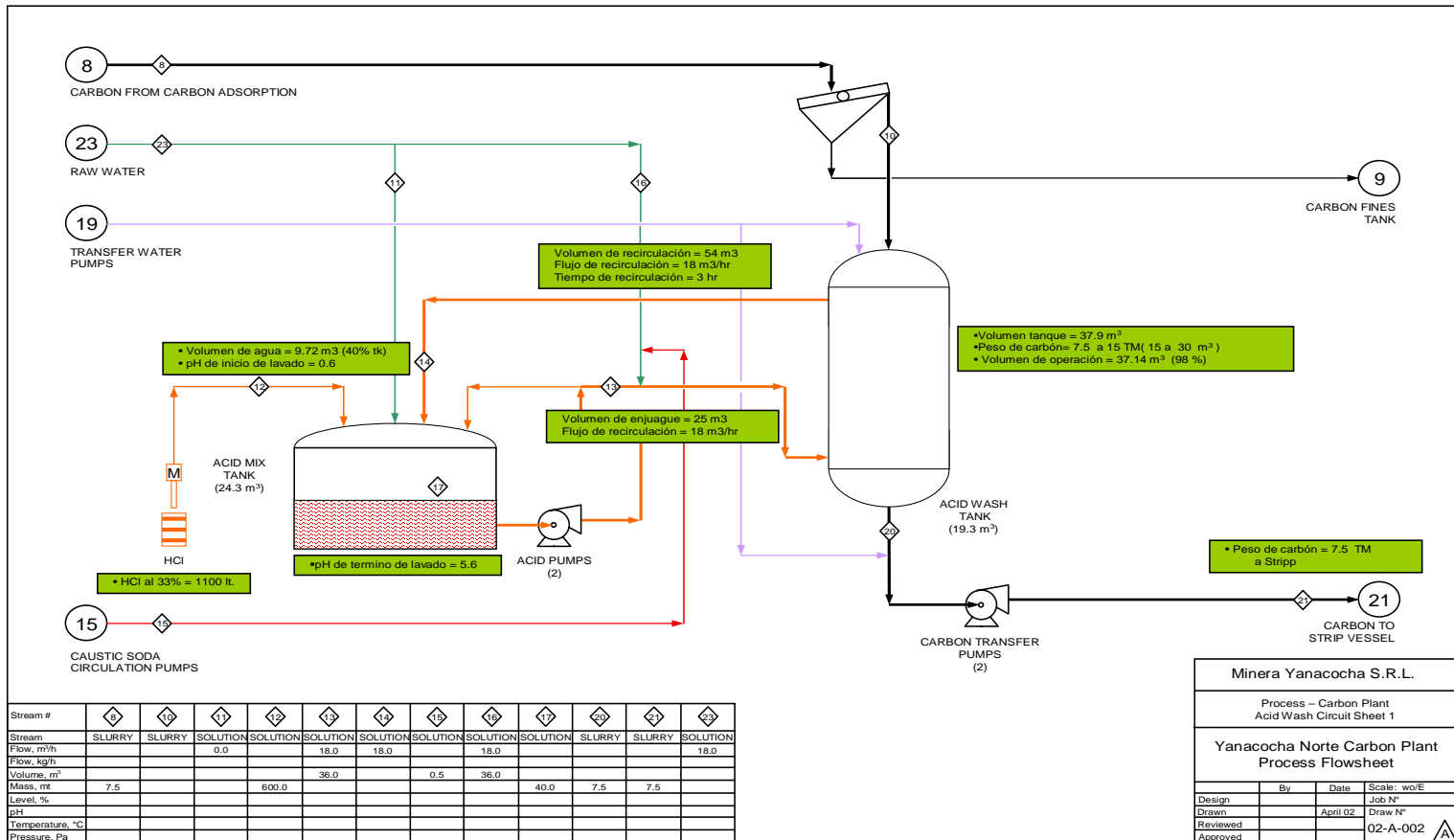


FIGURA 3.4 ESQUEMA DE LA ETAPA DE LAVADO ACIDO EN LA PLANTA DE CARBON DE YANACOCCHA NORTE

Se muestra la etapa de lavado ácido en donde los carbonatos son removidos del carbón activado a través de una solución de HCl de 3.7% en el tanque de mezcla que recircula por espacio de 3 horas con un flujo de 18m³/hr

3.4 REGENERACIÓN TÉRMICA

A diferencia del lavado del ácido en que básicamente consiste en la remoción de los carbonatos, la regeneración térmica tiene como función principal en la eliminación de materiales orgánicos, grasas y cualquier indicio de carbonato restante se transforma en gas CO_2 .

Consiste en pasar el carbón activado por un horno a una temperatura de $700\text{ }^\circ\text{C}$, para devolverle sus propiedades físicas y poder reutilizarlo en el proceso. En Yanacocha se usa un horno rotatorio horizontal.

El carbón saliente del horno pasa a un Tanque de agua fría (agua sin ablandar) con el fin de activarlo nuevamente, debido al cambio brusco de temperatura y así poder usarlo en el proceso de adsorción.

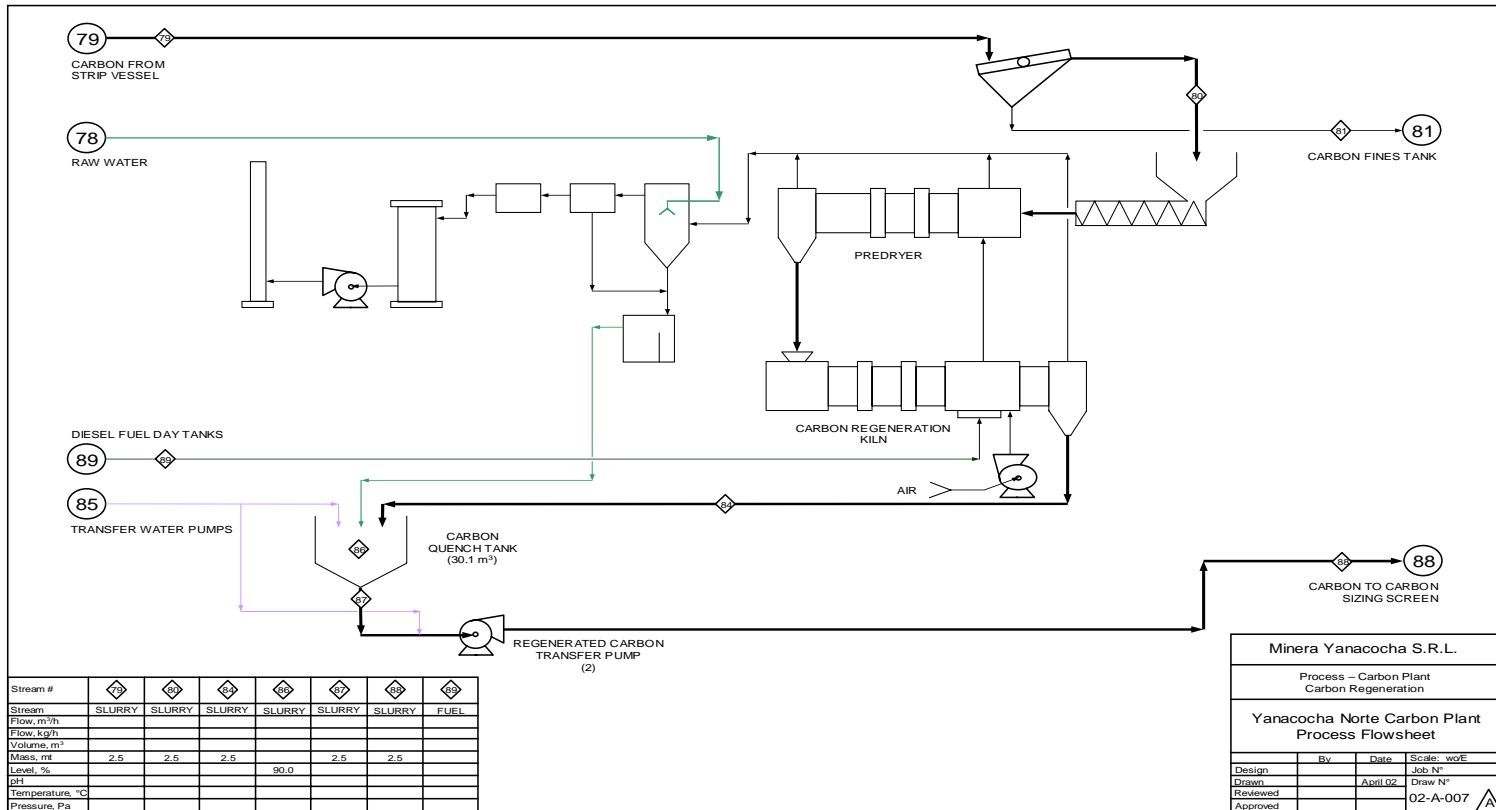


FIGURA 3.5 ESQUEMA DE LA ETAPA DE REGENERACION TERMICA EN LA PLANTA DE CARBON DE YANACOA NORTE

En esta etapa la alimentación se realiza a través de un transportador de tornillo hacia un presecado, para luego pasar al horno de regeneración del carbón. Finalmente luego de la regeneración se procede a la etapa de enfriamiento.

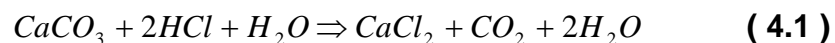
CAPITULO IV

TRABAJO EXPERIMENTAL

4.1 PLAN DE INVESTIGACIÓN

La parte experimental básicamente consiste en una etapa en la cual determinaremos los parámetros óptimos a nivel laboratorio, los cuales nos permitirá en la siguiente etapa escalarlos en planta. Por otro lado a nivel planta se evaluara el efecto del antincrustante.

Como se señalo anteriormente, la mayor cantidad de carbonatos generados en el proceso metalúrgico es el carbonato de calcio (CaCO_3) debido al uso de la cal. En tal sentido para uso práctico en las pruebas de laboratorio partiremos de la siguiente reacción química:



Estequiométricamente: 0.73 gr. de HCl atacan 1gr de carbonatos.

En promedio el contenido de carbonatos antes del lavado ácido es de 30 Kg CO₃ / TM carbón. Este parámetro es el que se tomara en cuenta para las pruebas respectivas.

Las condiciones que normalmente operaba la planta de carbón eran las siguientes:

pH inicio lavado ácido = 0.5 a 0.8

pH inicio lavado ácido = 1.0 a 1.5

Tabla 4.1: Parámetros con los que normalmente trabajaba la planta de carbón.

TM de carbón tratados en el lavado ácido	m ³ de HCl al (33%) utilizado en el lavado ácido	% HCl en el tanque de mezcla de ácido	% HCl en el circuito de lavado ácido	Ratio : TM carbón/ Kg HCl
7.5	0.55	1.9	0.6	41.3
15	1.1	3.7	2.2	41.3

Según lo citado en la tabla 4.1., Se necesita 24.2 Kg. de HCl para tratar 1TM de Carbón activado que contiene aproximadamente 30 Kg CO₃ / TM carbón.

Bajo estas condiciones podemos señalar:

Estequiométricamente (4.1): 0.73 Kg. de HCl atacan 1 Kg. de CO₃

En la práctica en planta : 0.80 Kg. de HCl atacan 1 Kg. de CO₃

En planta se trabajo con 9.6% mas que el estequiométrico.

La solución pregnant ingresa a la etapa de adsorción en promedio con 680 ppm de carbonatos y la solución barren sale con 630 ppm de carbonatos.

Las condiciones con las que se realizaron las pruebas en la planta de carbón fueron las siguientes:

pH inicio lavado ácido = 0.5 a 0.8

pH inicio lavado ácido = 1.0 a 1.5

Tabla 4.2: Parámetros con los que se realizaron las pruebas en la planta de carbón.

TM de carbón tratados en el lavado ácido	M³ de HCl al (33%) utilizado en el lavado ácido	% HCl en el tanque de mezcla de ácido	% HCl en el circuito de lavado ácido	Ratio : TM carbón/ Kg HCl
7.5	1.1	3.7	1.1	20.7
15	2.2	7.5	4.3	20.7

Según lo citado en la tabla 4.2 . Se necesita 48.3 Kg. de HCl para tratar 1TM de Carbón activado que contiene aproximadamente 30 Kg. CO₃ / TM carbón

Bajo estas condiciones podemos señalar:

Estequiométricamente (4.1): 0.73 Kg. de HCl atacan 1 Kg. de CO₃.

En la práctica en planta (pruebas) : 1.6 Kg. de HCl atacan 1 Kg. de CO₃

De lo señalado en las pruebas en planta se trabaja con 120 % más que el estequiométrico.

4.2 PROCEDIMIENTO

Trabajar con los parámetros citados en la tabla 4.2. Adición de antincrustante en la etapa de adsorción de 3 a 5 ppm.

Monitoreo de muestra de carbón activado en los puntos: antes de lavado ácido, después de lavado ácido, después de desorción, antes del tanque separado, antes de la quinta columna y después de la quinta columna. En todos los puntos citados se realizara el análisis de carbonatos respectivo. (anexos A1, A2, A3).

Monitoreo de soluciones antes y después de la quinta columna. Estas muestras son analizadas por Au.

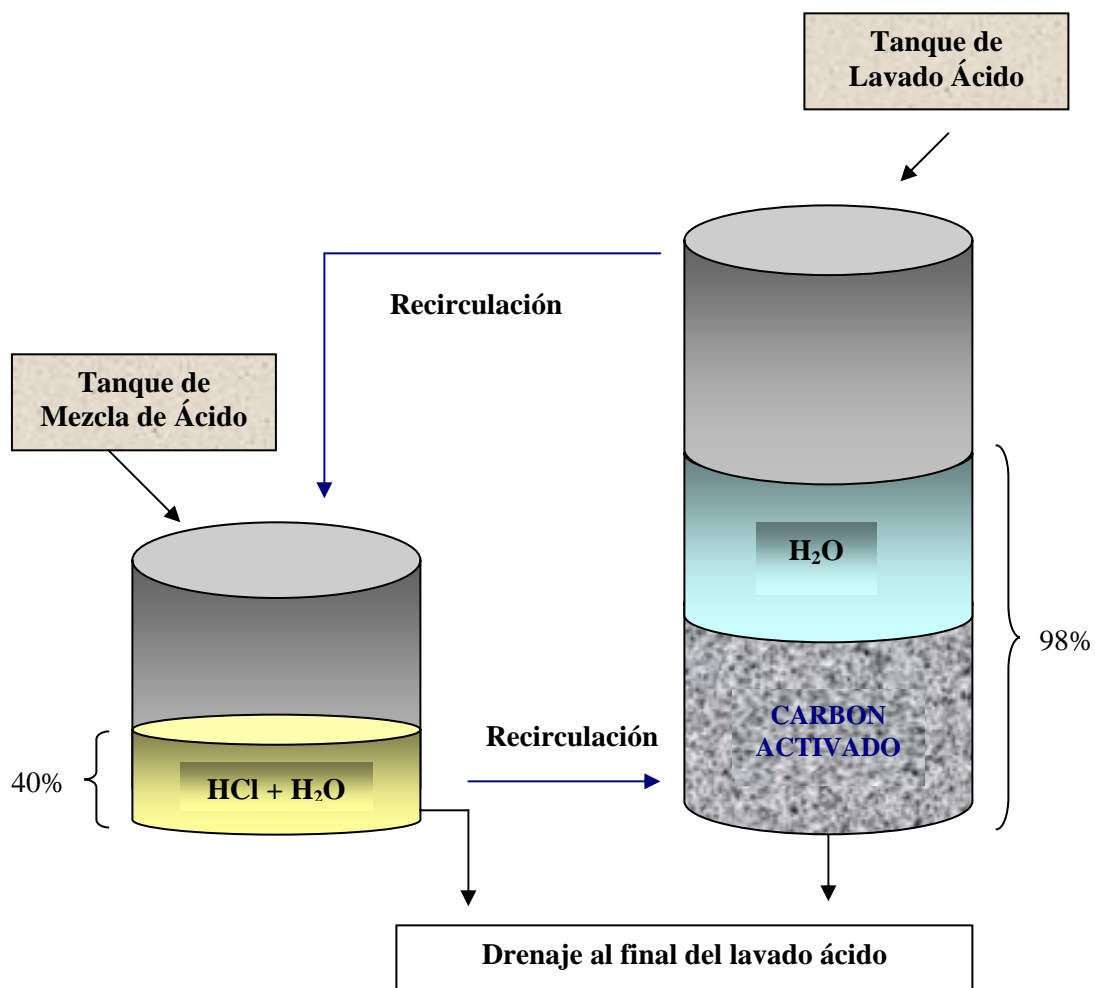


Figura 4.1. Se presenta el esquema de lavado ácido usado en las pruebas en planta. Se puede apreciar la disposición del HCl y carbón en el tanque de mezcla y tanque de lavado respectivamente, así también como sus capacidades efectivas de trabajo y el sistema de drenaje.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 RESULTADOS A NIVEL LABORATORIO

Tabla 5.1. Resultados experimentales que se obtuvieron en laboratorio.

HCl (%)	pH inicial	PH final	Kg CO ₃ /TM carbón	Eficiencia de Lavado (%)	Velocidad Adsorción mgAu / grC-hr
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.162
3	0.79	0.85	23.0	58.1	0.177
5	0.64	0.75	30.4	76.8	0.215
7	0.55	0.58	31.8	80.3	0.231
20	0.51	0.55	39.6	100.0	0.246

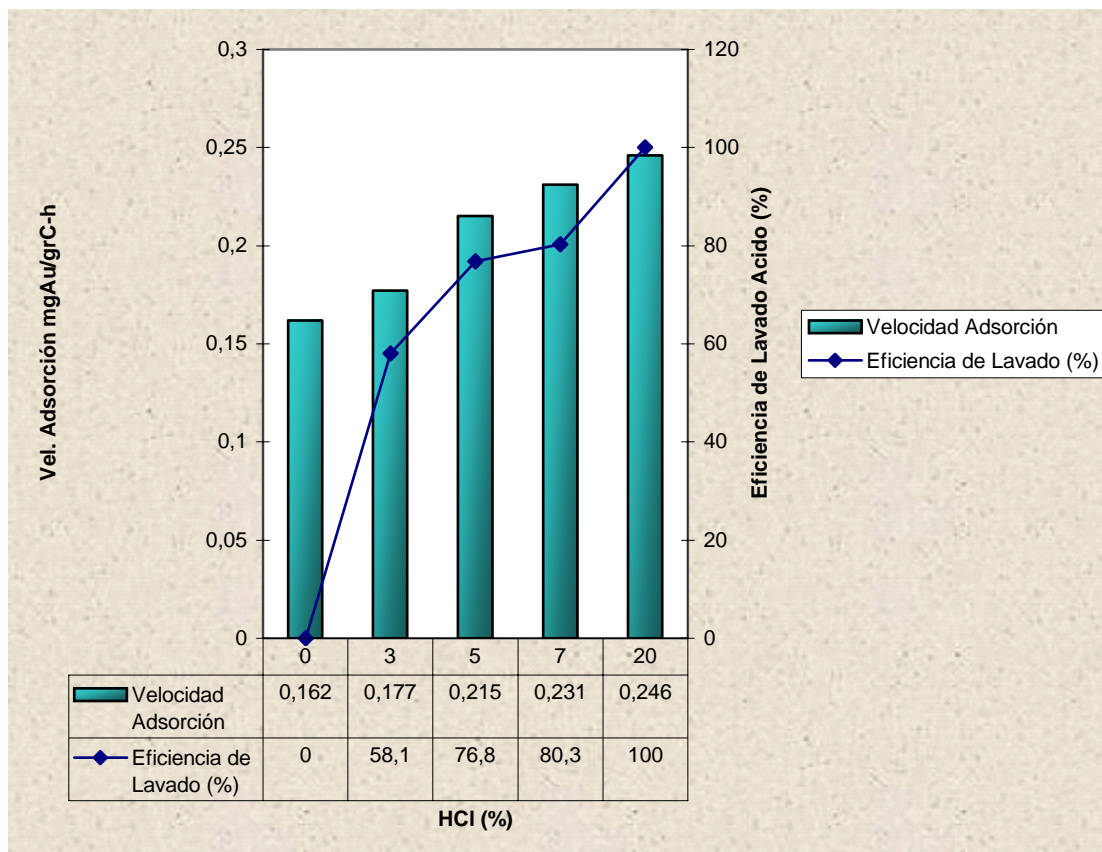


Figura 5.1 La concentración de ácido es directamente proporcional a la remoción de carbonatos y velocidad de adsorción.

Tabla 5.2 Leyes de la solución pregnant y recuperación de Au a medida que transcurre el tiempo de lavado ácido. (Simulación de la etapa de adsorción después de lavado ácido)

Tiempo (min)	Ley Au Solución (ppm)				Recuperación (%)			
	3% HCl	5% HCl	7% HCl	20% HCl	3% HCl	5% HCl	7% HCl	20% HCl
0	1.60	1.60	1.60	1.60	0.0	0.0	0.0	0.0
30	1.41	1.38	1.37	1.39	11.9	13.8	14.4	13.1
60	1.37	1.32	1.30	1.28	14.4	17.5	18.8	20.0
120	1.08	1.02	1.02	0.97	32.5	36.3	36.3	39.4
240	0.79	0.75	0.74	0.70	50.6	53.1	53.8	56.3
480	0.39	0.36	0.35	0.32	75.6	77.5	78.1	80.0
1140	0.21	0.16	0.14	0.11	86.9	90.0	91.3	93.1

5.2 RESULTADOS A NIVEL PLANTA

Tabla 5.3 Se presenta los promedios de los resultados obtenidos de CO₃ en los monitoreos realizados

Tipo de Prueba	KgCO ₃ /TM carbón					
	Antes de Lavado ácido	Después de Lavado ácido	Después de Desorción	Tanque Carbón Separado	Ingreso C_5	Salida C_5
CLA	31.7	3.4	16.9	18.1	20.3	24.1
SLA	29.4		32.8	35.2	35.5	38.7

CLA: Con lavado ácido

SLA : Sin lavado ácido

C_5: Columna 5

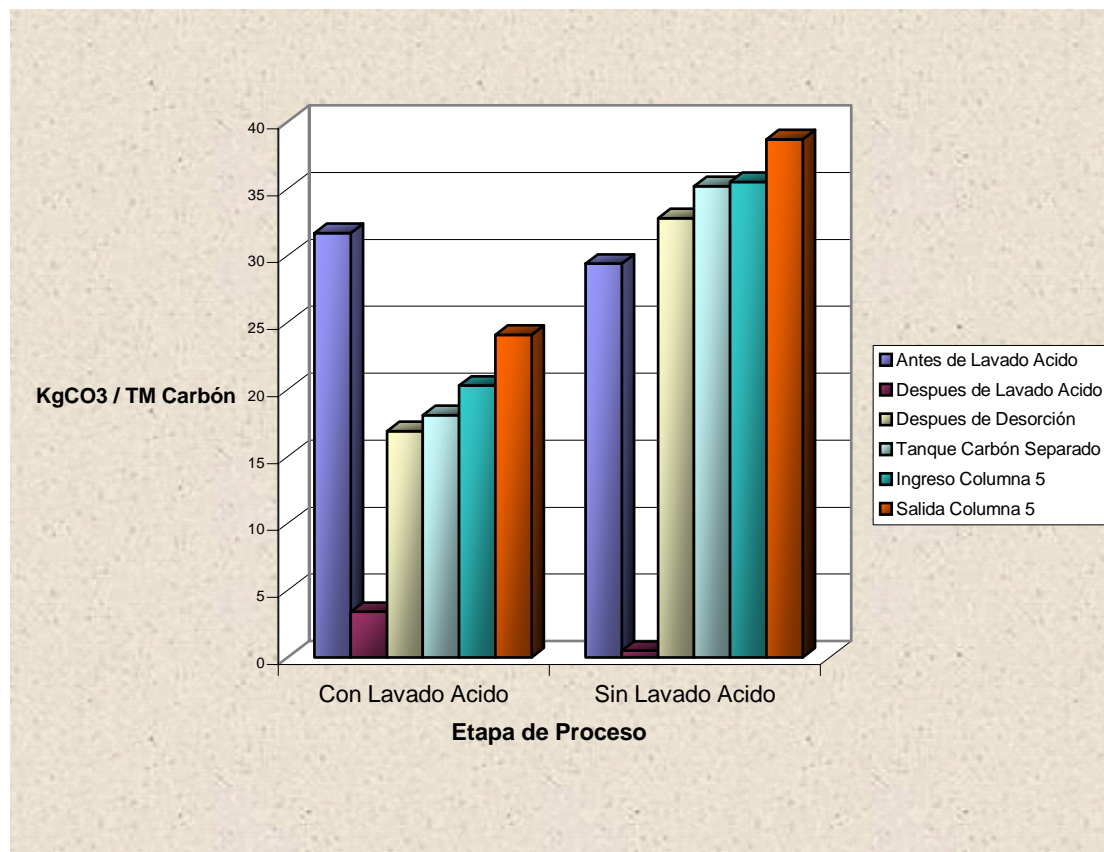


Figura 5.2 El lavado ácido influye considerablemente en la remoción de carbonatos adheridos al carbón, esto se refleja en la disminución de carbonatos de 31.7 a 3.40 Kg/TM carbón; así mismo, se observa el incremento considerable de carbonatos a partir de la etapa de desorción.

Tabla 5.4 Datos promedios de monitoreo de carbón con lavado ácido y drenaje.

Tipo de Monitoreo	KgCO ₃ /TM carbón	
	Antes de Lavado ácido	Después de Lavado ácido
Lavado ácido sin drenaje	27.8	4.6
Lavado ácido con drenaje	34.6	2.5

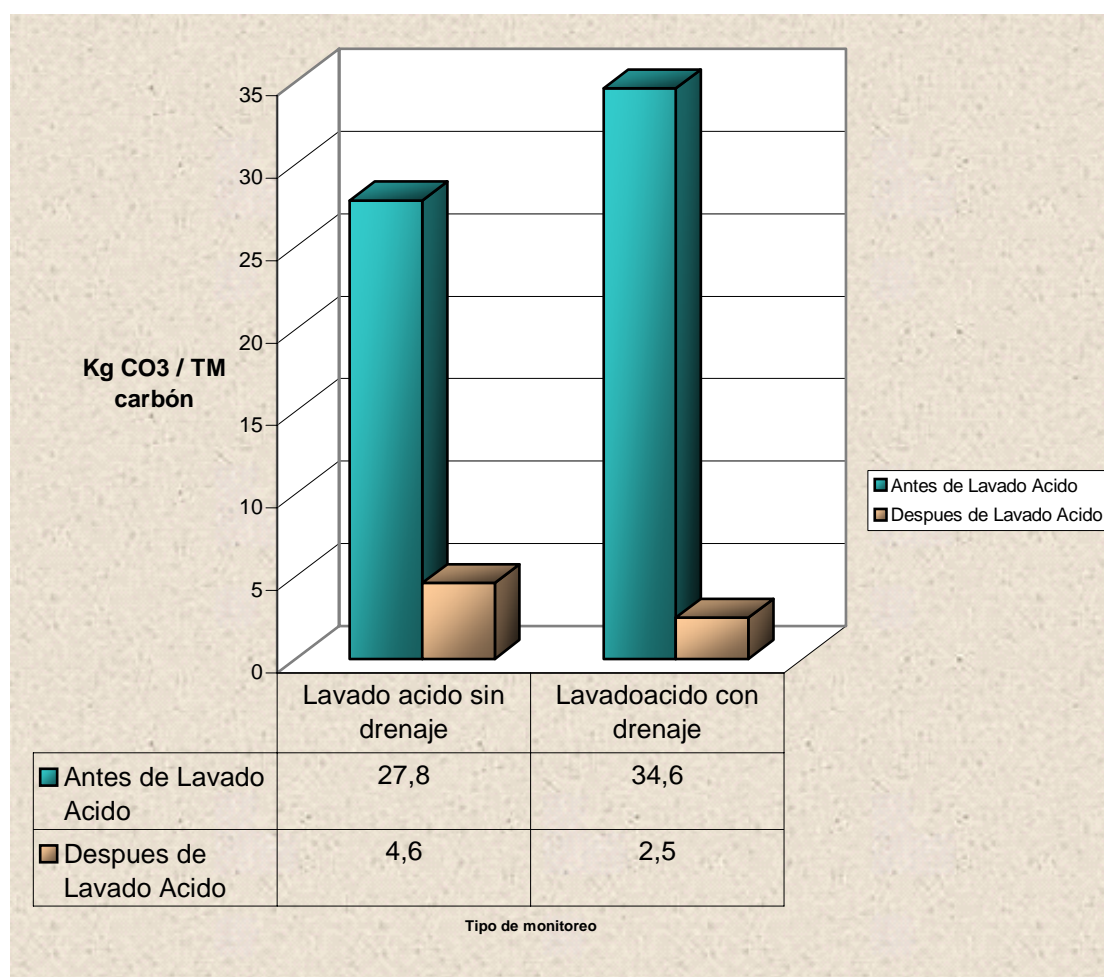


Figura 5.3 El drenaje de la solución del tanque de mezcla de ácido, influye en la remoción de carbonatos adheridos al carbón, esto se nota en la disminución de carbonatos de 4.60 a 2.5 Kg/TM carbón después de lavado ácido.

Tabla 5.5 Datos de la eficiencia de adsorción del carbón que ingresa a la 5ta. columna de cada tren.

Monitoreos	Kg CO ₃ /TM Carbón	Eficiencia Adsorción en la 5ta Columna (%)
1	11.6	55.6
2	16.4	53.1
3	23.2	47.2
4	30.1	42.9
5	54.4	33.3

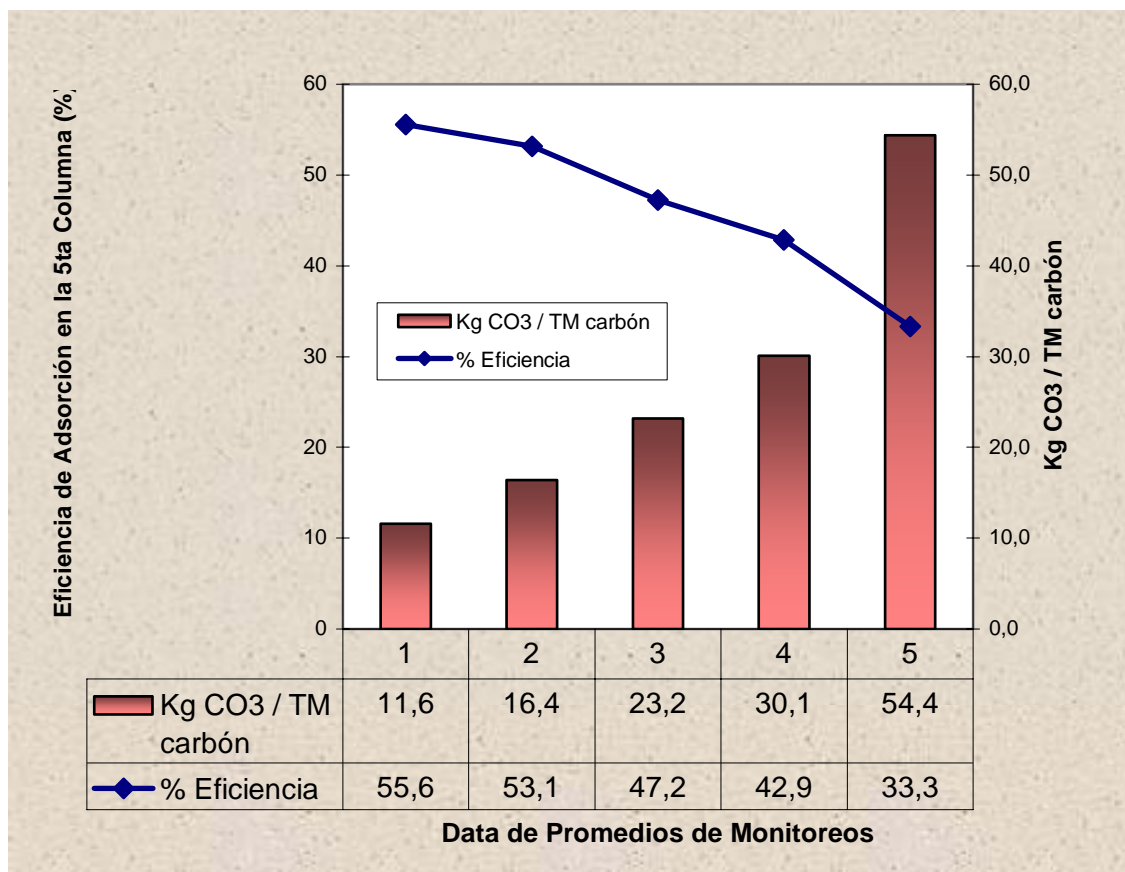


Figura 5.4 A medida que aumentan los carbonatos la eficiencia de adsorción disminuye hasta aproximadamente un 20%

Tabla 5.6: Se presentan los análisis de los carbonatos presentes en la solución pregnant y barren con adición y sin adición de antincrustante. Dosificación de antincrustante de 3 a 5 ppm.

Carbonatos presentes en la solución en la etapa de adsorción (ppm)		
	Entrada (solución pregnant)	Salida (solución barren)
Sin antincrustante	680	630
Con antincrustante	660	663

Tabla 5.7: Se presentan los análisis de los carbonatos presentes en el carbón activado antes y después de desorción. Con adición y sin adición de antincrustante. Dosificación de antincrustante de 30 a 50 ppm

Carbonatos presentes en el carbón en la etapa de desorción (Kg CO₃⁻ / TM carbón)		
	Entrada	Salida
Sin antincrustante	7	20
Con antincrustante	5	10

Leyenda:

Con lavado ácido	Kg CO₃/ TM carbón
Sin Lavado ácido	Kg CO₃/ TM carbón

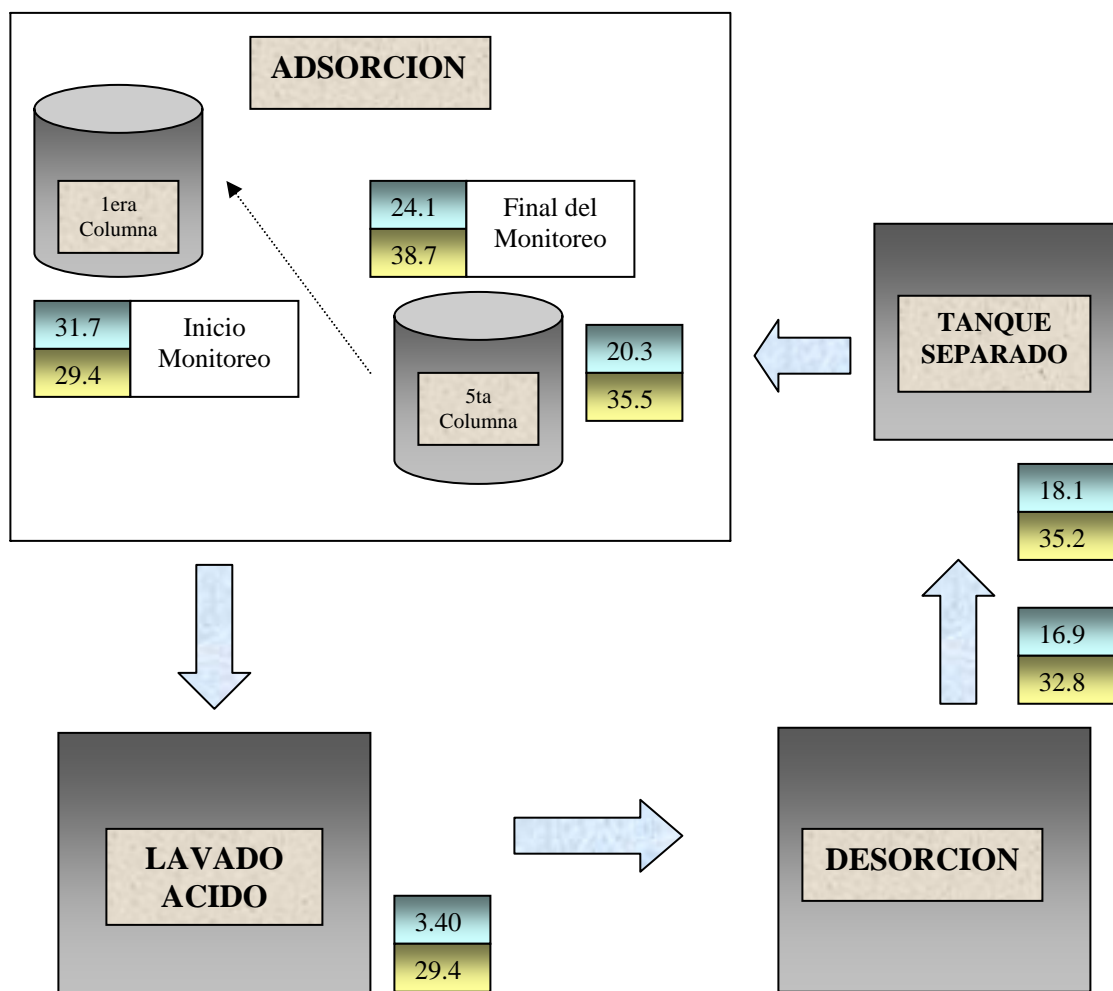


Figura 5.5 Balance de carbonatos en el carbón activado durante el proceso de adsorción, desorción y lavado ácido. El inicio del monitoreo empieza antes del lavado ácido y termina en la salida de la quinta columna.

5.3 OBSERVACIONES GENERALES DURANTE LAS PRUEBAS

Con los parámetros citados en la tabla 4.2, se empezó a realizar las pruebas en planta. Durante el transcurso de las pruebas en planta se observo los siguientes aspectos:

- a) El H₂O de enjuague presenta de 900 ppm a 1000 ppm de CO₃
- b) El tanque de mezcla de ácido presenta concentraciones de 15000 a 30000 ppm de CO₃ al final del lavado ácido. Para este caso se tomo como medida correctiva en drenar la solución del tanque de mezcla de ácido que quedaba al final del lavado y reemplazar la cantidad drenada con H₂O.
- c) Aumento de los carbonatos adheridos al carbón después de la desorción y disminución del flujo de recirculación en la etapa de desorción debido al encalichamiento producido en los intercambiadores de calor. Como medida de esto se comenzó agregar 50 a 30 ppm de antincrustante en el reactor de desorción.
- d) El horno de regeneración térmica y el dispositivo para ablandar el agua no se encontraban operativos.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- 6.1.1** De los resultados obtenidos con el lavado ácido podemos remover 28.3 Kg CO_3 / TM carbón. Esto representa una eficiencia de lavado ácido con HCl diluido al 3.7% para la remoción de carbonatos de 90%.
- 6.1.2** La cantidad de HCl usada en planta debe ser mayor a lo estequiométrico. En la practica según las pruebas desarrolladas se requiere 1.6 Kg de HCl para atacar 1Kg de CO_3 , de acuerdo a lo estequiométrico se requiere 0.73 Kg de HCl para atacar 1 Kg de CO_3 .

- 6.1.3** La concentración de HCl con la cual mas se trabajo fue de 3.7%. Cuando se trabajaba con concentraciones mayores originaba mayor consumo de NaOH para la neutralización, mayor tiempo de enjuague con agua, olor fuerte de ácido.
- 6.1.4** La eficiencia en la remoción de carbonatos es directamente proporcional al tiempo de lavado ácido y flujo de recirculación.
- 6.1.5** La eficiencia de remoción de carbonatos mejora cuando drenamos la solución del tanque de mezcla al final del lavado ácido la cual presenta concentraciones de 15000 a 30000 ppm de CO_3 .
- 6.1.6** En la quinta columna se observa un incremento de 4 Kg CO_3 / TM carbón.
- 6.1.7** El agua usada en el proceso presenta entre 900 y 1000 ppm de CO_3 .
- 6.1.8** La presencia de carbonatos se incrementa en la etapa de desorción esto principalmente al incremento de temperatura.
- 6.1.9** El incremento de carbonatos en la etapa de desorción es mayor en un carbón con lavado ácido que uno sin lavado ácido. Esto debido a que el

carbón sometido ha lavado ácido cuenta con una superficie más activa y limpia que el carbón sin someter a lavado ácido.

- 6.1.10** En el tanque de carbón separado, aumenta la incrustación de carbonatos dependiendo del tiempo de permanencia del carbón en contacto con el agua. (Figura 5.5)
- 6.1.11** La eficiencia de adsorción se incrementa cuando el carbón presenta menos contenidos de carbonatos, como se muestra en la tabla 5.5
- 6.1.12** El efecto del antincrustante según se aprecia en los resultados presentados en la tabla 5.6 tiene la característica de inhibir, neutralizar y remover los carbonatos.
- 6.1.13** Con la adición del antincrustante en la etapa de desorción se logra reducir los carbonatos en el carbón activado según se cita en la tabla 5.7
- 6.1.14** No hubo regeneración térmica debido a problemas con el horno.
- 6.1.15** El sistema para ablandar el agua dura no se encuentra operativo.

6.2 RECOMENDACIONES

- 6.2.1** Realizar la regeneración térmica para mejorar mucho más las propiedades del carbón y por ende mejorar la eficiencia de adsorción.
- 6.2.2** Habilitar el sistema de ablandamiento del agua dura para ablandar los 1000 CO₃ que contiene el agua usada en el proceso.
- 6.2.3** Trabajar con 3.7% de HCl en el tanque de mezcla.
- 6.2.4** Drenar el tanque de mezcla de ácido, por presentar una alta concentración de carbonatos.
- 6.2.5** Adicionar 30 ppm de antincrustante en la etapa de desorción, para mantener el nivel de carbonatos después del lavado ácido.
- 6.2.6** Adicionar 3 ppm de antincrustante a la etapa de adsorción.
- 6.2.7** Se debe monitorear continuamente y hacer un balance de carbonatos para optimizar los parámetros.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Esteban Domic Mihovilovic, HIDROMETALURGIA - Fundamentos, Procesos y Aplicaciones, Primera Edición, Editorial Andros Impresores Ltda.,2001
- [2] PROCEDIMIENTOS DE PLANTAS DE CARBON, 2003, Cajamarca, Mra. Yanacocha SRL.
- [3] REGENERATION OF ACTIVATED CARBON USED FOR RECOVERY OF GOLD – Minerals and Metallurgical Processing, 1985, Urbanic, J.E., Faulkner
- [4] ANTINCRUSTANTES, 2003, Lima, Basf Peruana S.A.
- [5] FORMACION Y CONTROL DE INCRUSTACIONES, 2003, Cajamarca, Mra. Yanacocha SRL.
- [6] CARBON ADSORPTION OF GOLD, MAXIMUM LOADING AND IONIC CONTAMINANT EFFECT ON LOADING RATES, 2000, W. Boehme, George Potter.
- [7] LA LUCHA CONTRA LAS INCRUSTACIONES, REMOCION Y PREVENCIÓN, 1988, Mike Crabtree
- [8] Miguel Angel, Conceptos Básicos de Agua de Aporte a Calderas, 2005, <http://www.monografias.com/trabajos5/aguacald/aguacald.shtml#duras>, Ultima Visita 11/09/2005
- [9] Carlos Dorronsoró, Contaminación por Sales Solubles, 2005, <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=983> , Ultima Visita 11/09/2005
- [10] Iones Industrias, Incrustación: Proceso Natural Aunque Evitable, 2005,

<http://ionis.com.ar/agua/incrustacion.htm>, Ultima Visita 11/09/2005

- [11] Universidad de los Andes – Colombia, Aplicación de los cálculos de equilibrio,2005,
http://wwwprof.uniandes.edu.co/~infquimi/ANALISIS/calculos_equi/aplicacion.htm , Ultima Visita 11/09/2005
- [12] Asociación de fabricantes de tubos de aceros (A.F.T.A.), Incrustaciones calcáreas en conducciones de agua,2005
<http://pymes.wanadoo.es/afta/afta55.htm> ,Ultima Visita 11/09/2005
- [13] TECSUP, Programa de Capacitación continua, Procesos de Carbón Activado en la Metalurgia de Oro, 2004.

ANEXOS

ANEXO A1:**ANÁLISIS DE CARBONATOS EN MUESTRA DE CARBÓN**

Pasos :

1. Secar muestra.
2. Pesar 5gr de carbón activado.
3. Adicionar 15ml HCl (20%).
4. Reposar 20 minutos.
5. Adicionar 100 ml de agua destilada.
6. Reposar por 5 minutos.
7. Tomar una alícuota de 10 ml de solución.
8. Adicionar 10 ml de Buffer hasta obtener un pH aproximadamente de 10
9. Adicionar 12 a 15 gotas de indicador.
10. Valorar con EDTA (0.1 N) hasta obtener un viraje violeta

$$\text{Kg CaCO}_3 / \text{TM carbón} = \frac{\text{VEDTA (ml)} \times \text{NEDTA} \times (\text{VHCl} + \text{VH}_2\text{O}) (\text{ml}) * 50}{\text{Wcarbón (gr)} \times \text{Vsolución}}$$

Donde:

VEDTA (ml)	: Volumen de EDTA consumido en la titulación.
NEDTA	: Normalidad del EDTA
VHCl (ml)	: Volumen de HCl
VH ₂ O (ml)	: Volumen de H ₂ O
Vsolución (ml)	: Volumen de la solución
Wcarbón (gr)	: Peso de del carbón

ANEXO A2:**ANÁLISIS DE CARBONATOS EN SOLUCIONES DE pH de 0 a 5**

Pasos :

1. Tomar 5 ml de muestra de solución
2. Adicionar 20 ml. de agua destilada
3. Adicionar 15 ml. de Buffer hasta regular el pH a 10
4. Adicionar 15 gotas de Indicador
5. Titular con EDTA (0.1 N) hasta obtener un viraje violeta

$$\text{CaCO}_3 \text{ (ppm)} = \frac{\text{VEDTA (ml)} \times \text{NEDTA} \times 50000 * 5}{\text{Vsolución (ml)}}$$

Donde:

VEDTA (ml) : Volumen de EDTA consumido en la titulación.
NEDTA : Normalidad del EDTA
Vsolución (ml) : Volumen de la solución

ANEXO A3:**ANÁLISIS DE CARBONATOS EN SOLUCIONES DE pH de 7 a 10**

Pasos :

1. Tomar 25 ml de muestra de solución
2. Adicionar 5 ml. de Buffer hasta regular el pH a 10
3. Adicionar 15 gotas de Indicador
4. Titular con EDTA (0.1 N) hasta obtener un viraje violeta

$$\text{CaCO}_3 \text{ (ppm)} = \frac{\text{VEDTA (ml)} \times \text{NEDTA} \times 50000}{\text{Vsolución (ml)}}$$

Donde:

VEDTA (ml) : Volumen de EDTA consumido en la titulación.
NEDTA : Normalidad del EDTA
Vsolución (ml) : Volumen de la solución

ANEXO B1:**PROCESO ZADRA [13]**

La desorción se lleva a efecto en una columna o estanque de fondo cónico donde se coloca el carbón cargado, previamente lavado con agua y se hace pasar en sentido ascendente una solución al 1% de NaOH mas 0.1% de NaCN, a un flujo entre 1.0 y 1.3 (lechos de volúmenes)/hr a 85 – 95°C y a presión atmosférica. El eluído conteniendo el oro desorbido realimenta a celdas electrolíticas circulares en serie, que se operan en contracorriente.

El electrolito agotado que abandona la última celda es reciclado a columnas calefacionadas hasta que la concentración del eluído no supere los 2-3 mg/lit Au. Normalmente el ciclo de elusión Zadra a presión atmosférica dura entre 24 a 60 horas, dependiendo de la calidad del carbón y de la eficiencia del circuito de electro obtención.

Este proceso es simple y los costos de capital y operación son relativamente bajos, lo cual lo hace muy conveniente en operaciones en pequeña escala, sin embargo los largos ciclos de tiempo requeridos para una efectiva elusión pueden ser un factor limitante en plantas de gran escala.

ANEXO B2:**PROCESO ZADRA PRESURIZADO [13]**

La versión presurizada del procedimiento zadra surgió como una necesidad para reducir los tiempos requeridos en el sistema a presión atmosférica, a raíz de la alta dependencia encontrada de la desorción con la temperatura. El circuito es similar al Zadra, excepto que la operación se lleva a cabo en una columna presurizada a 135-140°C y a una presión de 350 – 550 Kpa (50-80 psi) con lo cual se logra una eficiente elusión del oro al cabo de 8 a 12 horas.

El uso de altas presiones y temperaturas asociadas con este proceso requieren del uso de equipos mas costosos y las soluciones efluentes tienen que ser enfriadas antes de reducir la presión a fin de evitar salpicaduras calientes.

ANEXO B3:**PROCESO CON ALCOHOL [13]**

El método con solución alcalina de alcohol emplea como base el mismo circuito de desorción y electro-obtención simultánea y la misma solución al 1% NaOH + 0.1% NaCN de Zadra, a la cual se le agrega un 20% en volumen de metanol o de etanol (preferentemente este último) alcanzándose una alta eficiencia a cabo de 5-6 horas en una operación a 80°C y a una presión atmosférica.

La ventaja de la desorción con alcohol es la reducción en tamaño de la sección stripping. La mayor desventaja de este proceso es el riesgo a incendios y los asociados a altos costos de operación debido a las pérdidas por volatilización del alcohol. Algunas reglas de seguridad han sido incorporados en el diseño de estos circuitos a fin de minimizar los riesgos de incendios, y una instalación de un sistema de recuperación efectiva de vapor es esencial para mantener el balance económico. Esta técnica permite que el carbón no requiera frecuente regeneración.

ANEXO B4:**PROCESO ANGLO AMERICAN [13]**

Este proceso difiere a los anteriores en el sentido que opera en un circuito abierto con la electro obtención.

Este proceso involucra un pre-tratamiento de remojo en caliente a una temperatura de 90 a 95 °C del carbón cargado, con 0.5 a 1.0 lechos de volúmenes de solución al 1% de NaOH y de 3 a 5% de NaCN durante 1 hora, seguido de una solución con agua desmineralizada a un flujo de 2-5 lechos de volúmenes / hr.

El método puede funcionar a 95°C a presión atmosférica, necesitándose no mas de 10 lechos de volúmenes para una operación eficiente a nivel industrial, pero con una presión de 200 Kpa (30 psi) y a 120 °C, se reduce considerablemente el tiempo y el volumen de agua requeridos.