

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL**



**“Optimización de un Proceso de Recuperación de
Oro mediante Carbón Activado”**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para Optar por el Título Profesional de:

INGENIERO QUÍMICO

Por la modalidad de Actualización de Conocimientos

Presentado por:

Asalde Horna, Rosa María

**LIMA- PERÚ
2010**

Dedicatoria

A mis padres por ser mi ejemplo
de vida, dedicación y esfuerzo,
son y serán siempre el motor
que impulsa mi lucha.

Agradecimientos

Al Ing. Elmo Pajares por el tiempo y la dedicación
prestada en este trabajo: Muchas Gracias.

A mis compañeros de trabajo y amigos de la
Planta La Quinoa: Muchas Gracias

A mi familia en general por el apoyo
brindado: Muchas Gracias.

RESUMEN

El presente trabajo es una investigación de campo de tipo experimental, se realizó en las instalaciones de Minera Yanacocha S.R.L en la Planta de Carbón denominada La Quinoa. El oro es extraído del mineral mediante el proceso de lixiviación con cianuro de sodio, el cual se produce en pilas de lixiviación, esta solución es recolectada y enviada a una poza la cual alimenta la planta de carbón, la solución ingresa a la serie de columnas de carbón activado en donde el oro es adsorbido quedando impregnado en el carbón activado, la solución a la salida de las columnas de carbón activado tiene bajo contenido de oro por lo que se denominada solución pobre. El carbón activado conteniendo oro es sometido a desorción, proceso por el cual el oro es removido del carbón activado, la solución a la salida de la desorción es denominada Solución Super Rica por su alto contenido en oro, esta solución es enviada al proceso Merrill Crowe y luego a refinación, proceso por el cual se obtiene el dore, el carbón activado es enviado al circuito de columnas de carbón recirculando en el proceso de recuperación de oro.

La solución que se encuentra en contacto con el carbón activado tiene un alto contenido de carbonatos de calcio debido al uso de lechada de cal, esta se utiliza para mantener un pH alcalino en el proceso, los iones de carbonato de calcio se incrustan en el carbón activado influyendo en la eficiencia de adsorción del oro.

Se investigaron alternativas para reducir el contenido de carbonato de calcio en el carbón activado para la optimización del proceso de obtención de oro. las fueron implementadas en la Planta de Carbón La Quinoa y se presentan a continuación.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	7
II.	DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS	9
2.1	Proceso de recuperación de oro mediante carbón activado	9
2.1.1	Lixiviación	9
2.1.2	Adsorción de Oro con Carbón Activado	10
2.1.3	Desorción del Oro	11
2.1.4	Regeneración	12
2.1.4.1	Regeneración Química	13
2.1.4.2	Reactivación Térmica	14
III.	DESARROLLO DEL TEMA	15
3.1	Enfoque del Problema: Contenido de oro en Solución Barren	15
3.2	Factores que afectan la Adsorción de Oro en el Carbón Activado	15
3.2.1	Efecto del Carbón Activado	16
3.2.2	Efecto del pH	17
3.2.3	Efecto de la Concentración de Cianuro	18
3.2.4	Efecto de la Concentración de Oro	18
3.2.5	Efecto de la Temperatura	18
3.2.6	Efecto del Tamaño de la Partícula	19
3.2.7	Adsorción de Otros Metales	19
3.3	Contenido de Carbonato de Calcio en el Proceso	21
3.3.1	Soluciones Cianuradas	22
3.3.2	Columnas de Carbón	23
3.3.3	Regeneración Química y Desorción	27
3.4	Eliminación de carbonato de calcio en Carbón Activado por Regeneración Química	32
3.4.1	Influencia del contenido de Carbonato de Calcio en la Capacidad de Carga de Carbón Activado	33
3.4.2	Parámetros utilizados en la Regeneración Química	39
3.4.3	Reducción del consumo de HCl en la regeneración química	40
3.5	Comportamiento del Carbonato de Calcio en la Desorción	50
3.5.1	Variables importantes en la Desorción	50
3.5.1.1	Temperatura	51

3.5.1.2	Competencia de Iones	51
3.5.1.3	Solventes Orgánicos	52
3.5.2	Parámetros utilizados en la Desorción	52
3.5.3	Aumento del contenido de carbonato de calcio durante la Desorción	54
3.5.4	Propuestas para la eliminación de Carbonato de Calcio en Carbón Activado antes del ingreso a las columnas de adsorción	57
3.5.4.1	Regeneración Química del Carbón Activado antes y después de la desorción	57
3.5.4.2	Regeneración Química del Carbón Activado después de la desorción	59
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
V.	BIBLIOGRAFÍA	67
VI.	APÉNDICE	69

I. INTRODUCCIÓN

El uso del carbón activado en la metalurgia extractiva se ha intensificado en las últimas dos décadas, empleándose en los procesos de flotación de minerales, tratamiento de aguas industriales, purificación de electrólitos, recuperación de metales disueltos en soluciones acuosas, como modificador del potencial de oxidación-reducción, como catalizador, etc. El carbón activado se emplea además para recuperar el oro contenido en soluciones originadas en diversos procesos de cianuración, entre los que figura actualmente el de lixiviación en pilas, carbón en pulpa (CIP) y carbón en lixiviación (CIL).

Por lo señalado anteriormente la tendencia actual es adoptar la tecnología del carbón activado para la recuperación de oro desde soluciones alcalinas diluidas que contengan cantidades muy pequeñas de oro en solución, es decir, su aplicación ha permitido explotar yacimientos de baja ley, con el concurso de métodos de bajo costo de lixiviación, como es la lixiviación en pilas o para tratar pulpas provenientes de agitación sin utilizar lavado en contracorriente, como en el proceso de Carbón en Pulpa, rebajando los costos de capital para la planta.

Hoy en día, numerosas plantas de cianuración de oro aplican la tecnología del carbón activado para este fin, gracias a las ventajas competitivas que ofrece este método respecto a la técnica de cementación, siendo en la actualidad el mayor proceso industrial utilizado para recuperar metales de interés desde soluciones acuosas. Además, el creciente interés por la explotación de yacimientos de oro de parte de diversas compañías se origina por dos motivos: el aumento en el precio del oro y la creación de métodos de operación cada vez más rentables para la explotación de yacimientos de baja ley, que antes no lo eran. Sin embargo, todavía existen situaciones industriales no optimizadas, como la velocidad de adsorción de oro en el carbón, y otros de conocimiento básico como el mecanismo o forma de adsorción. Estas son algunas de las interrogantes que aún no han sido resueltas hasta ahora.

En la actualidad existe escasa información actualizada sobre estudios que evalúen la importancia de las propiedades físicas de los carbones activados, y su importancia en el mecanismo y cinética de adsorción de oro dentro del interior de la superficie del carbón estudiado.

Dentro de la escasa información actualizada, se ha determinado que los principales factores que influyen en la adsorción del oro mediante carbón activado son: Efecto de la fuerza iónica, temperatura, tamaño de partícula del carbón activado, absorción de otros metales, entre otros.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el contenido de carbonato de calcio en carbón activado en las diferentes etapas del proceso para determinar la influencia de dicho contenido en la adsorción y desorción de oro para poder plantear posibles soluciones en mejora del proceso.

II. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS

2.1 Proceso de recuperación de oro mediante carbón activado

La aplicación de los últimos avances en la metalurgia del oro y la plata han sido de gran importancia para el desarrollo de la minería aurífera, ya que los nuevos métodos investigados han permitido el tratamiento de yacimientos cuya explotación en el pasado se consideraba antieconómica. Una de las aplicaciones, lo constituye precisamente el uso del carbón activado a partir de soluciones cianuradas. El proceso general se puede resumir en las siguientes etapas:

- **Lixiviación:** Por agitación o en pilas
- **Carga:** Adsorción con carbón activado de oro o de plata de la solución rica cianurada.
- **Descarga:** También llamada elusión o desorción de oro o de plata del carbón en una solución más concentrada.
- **Regeneración:** Restitución de propiedades originales del carbón
- **Producción de oro metálico:** Mediante técnicas de electro deposición o cementación del oro de la solución concentrada (desorbida).

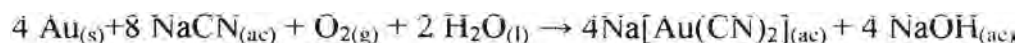
La solución estéril se recicla a la etapa de desorción o se descarta después de un cierto número de desorciones, dependiendo de su contenido de impurezas.

2.1.1 Lixiviación

La metodología que se emplea para procesar el mineral es la Lixiviación por Cianuración.

El tratamiento metalúrgico de las menas de oro está basado principalmente en las propiedades inusuales del oro nativo y sus posibles aleaciones con plata (electrum). Esto es por su alto peso

específico comparado con los de la ganga asociada y por otro lado se basa en que el oro nativo, plata o distintas aleaciones entre estos, son solubles en soluciones cianuradas alcalinas diluidas. regidas por la siguiente ecuación:



Muchas de las minas de oro en la actualidad utilizan la cianuración en pilas.

La cianuración en pilas es una lixiviación por percolación del mineral acopiado sobre una superficie preparada para coleccionar las soluciones. El mineral se coloca sobre un piso impermeable formando una pila de una cierta altura sobre la que se esparce una solución de cianuro diluida, la que percola a través del lecho disolviendo los metales preciosos finamente diseminados en la mena.

La solución enriquecida de oro y plata se colecciona sobre el piso impermeable, dispuesto en forma ligeramente inclinada que hace que fluya hacia la poza coleccionadora, desde ahí se alimenta el circuito de recuperación.

Una de las variables importantes en la cianuración es el pH, este se debe mantener en un rango de 9,5-10,5 sobre todo para no perder cianuro como gas cianhídrico y retardar la cinética de la lixiviación.

2.1.2 Adsorción de Oro con Carbón Activado

El licor lixiviado es generado en la mayoría de las operaciones de lixiviación en pilas de minerales con baja ley de oro y están prácticamente libres de sólidos suspendidos. En tales operaciones la solución rica (licor lixiviado clarificado) es circulada a través de columnas empaquetadas con carbón activado en contracorriente.

La operación es esencialmente similar al proceso de intercambio iónico. Un buen contacto líquido/sólido es realizado por la fluidización

de las partículas de carbón en las columnas. Regularmente se usan una serie de columnas.

En una operación típica de adsorción, las soluciones provenientes de la pila se hacen pasar a través de 5 ó 6 columnas en serie, cada una de estas conteniendo la misma cantidad de carbón.

La primera columna que se contacta con la solución es retirada periódicamente del circuito una vez que el carbón se ha cargado, colocándose posteriormente en el último lugar con carbón fresco mientras que las restantes avanzan un lugar en la serie; este sistema de operación en contracorriente permite un mejor aprovechamiento de la capacidad adsorbente del carbón.

La alimentación puede efectuarse en sentido descendente, haciendo percolar la solución a través de un lecho fijo de carbón, o ascendente pasando la solución a una velocidad apropiada para mantener las partículas en lecho suspendido o fluidizado. La adsorción en lecho fijo requiere de una menor cantidad de carbón que el sistema fluidizado, pero está limitado a operar solo con soluciones clarificadas y a un flujo específico de no más de 2 L/h.dm² de sección.

El sistema fluidizado, puede funcionar con soluciones turbias y a un flujo que, para carbones gruesos como el -6 + 16 malla puede llegar hasta unos 10 L/h.dm².

2.1.3 Desorción del Oro

Las técnicas de desorción aplicadas en la actualidad permiten obtener una recuperación de oro y plata desde el carbón en forma efectiva y práctica. La selección del método de desorción depende de las condiciones de la planta. En plantas pequeñas el rendimiento de la desorción atmosférica es buena, requiere menos equipos con bajo capital y costo de operación. En cambio en plantas donde el tonelaje

tratado es grande, se requiere que el tiempo de tratamiento sea corto (6- 10 h máx.) por lo que la desorción a presión con cianuro cáustico o uso de alcohol serán los más adecuados.

Existen muchos procedimientos entre ellos:

- Procedimiento Zadra
- Procedimiento Zadra Presurizado
- Procedimiento con alcohol
- Procedimiento Anglo American

El procedimiento de elusión de oro denominado Anglo American fue desarrollado por Anglo American Research laboratories (AARL) en Sud África, siendo su precursor Davidson y colaboradores.

En este proceso se utiliza el procedimiento Anglo American.

El procedimiento AARL involucra un pre-tratamiento de remojo en caliente del carbón cargado, con solución Presoak (NaOH y NaCN) hasta que la temperatura del sistema incrementa seguido de un lavado con Solución Intermedia (agua caliente). Se realiza a presión para disminuir el tiempo de desorción.

A la solución que se obtiene de la desorción se le denomina solución Super Rica y es almacenada en el tanque de Eluido para luego ser enviada al Proceso de Merrill Crowe.

2.1.4 Regeneración

El carbon activado tiende normalmente a disminuir su eficiencia de adsorción, por lo que es muy importante controlar continuamente la calidad de carbón. Esto se aprecia muy claramente al analizar los valores de oro en la solución barren, pues se observa que los valores de oro se van incrementando paulatinamente de manera continua.

Afortunadamente las propiedades del carbón pueden ser restituidas por efectos de una reactivación de las propiedades originales. La reactivación del carbón activado constituye uno de los más importantes aspectos para el buen rendimiento de una planta.

Durante el ciclo de adsorción, varias especies orgánicas son adsorbidas por el carbón, las que son a veces extraídas por la solución eluente. Se ha encontrado que el carbón adsorbe además de oro y plata, materiales orgánicos y pequeñas cantidades de sulfuro de hierro, carbonatos, hidróxidos etc. Por ello es importante que la capacidad de carga del carbón desorbido sea restaurada a su capacidad original.

Los Microporos constituyen los principales lugares de adsorción y tienden a ser cargados con altas leyes de oro y plata, comparándolos con los mesoporos y los macroporos. Por otro lado los mesoporos y macroporos capturan iones de alta masa molecular y como resultado hay una declinación en la eficiencia de adsorción.

2.1.4.1 Regeneración Química

Puede realizarse por los siguientes procesos:

- Lavado simple con agua o lavado con vapor, con la finalidad de eliminar las lamas de los poros antes de la elusión.
- Lixiviación con ácido clorhídrico (HCl) diluido (3%) a 90 °C. lo que ayuda a eliminar la sílice y el calcio del carbón.

Los precipitados de carbonatos y/o sulfatos de calcio atrapados en los poros del carbón afectan negativamente la capacidad de carga del carbón. Los carbonatos son consecuencia de la reacción de la cal que se utiliza para regular el pH. El carbonato al precipitarse en la superficie del carbón forma una capa delgada como una película que prácticamente elimina el contacto entre el carbón y la pulpa o carbón y solución desorbente con lo cual disminuye drásticamente la capacidad

del carbón.

En el lavado ácido del carbón, se debe tener presente las precauciones del caso debido a formación de ácido cianhídrico (HCN) por la presencia de cianuro libre en los poros del carbón. En ciertos casos se prefiere ácido nítrico. Ultimamente se han reportados estudios que el sulfato de cobre es efectivo en la regeneración química.

2.1.4.2 Reactivación Térmica

Los métodos químicos pueden devolver la actividad a un carbón agotado y remover o recuperar algunos productos adsorbidos por el mismo. Sin embargo, la regeneración química puede restaurar solo parcialmente la actividad del carbón y lo reactiva insuficientemente, inclusive en muchos casos solo en porciones de ciclos de operación efectiva, mientras que la regeneración térmica puede ser aplicada en procesos completos de trabajo y permite una reactivación altamente eficiente dejando los carbones en condiciones muy parecidas a los carbones nuevos.

La reactivación térmica consiste en someter al carbón activado a un calentamiento gradual y en forma indirecta hasta la *temperatura de 700°C con un corto tiempo de retención a esta temperatura.*

Se debe evitar que el carbón combustione para no permitir la formación de cenizas que ocasionaría la pérdida de carbón activado.

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Enfoque del Problema: Contenido de oro en Solución Barren

La planta de recuperación de oro estudiada estableció que la cantidad de oro contenido en la solución barren a la salida del circuito de recuperación de oro mediante carbón activado debe ser como máximo 0.020 ppm de oro.

Esta es una de las variables a las cuales se realiza seguimiento constantemente y la realiza el laboratorio de la compañía brindando los reportes a la planta de forma diaria

Con el precio de oro igual a \$1 211,39/oz. por cada 0.01 ppm que aumenta el contenido de oro en barren se deja de vender \$50 200 por día. Esta cifra motiva a nuevos estudios para disminuir el contenido de oro en el barren.

La solución barren o solución pobre se obtiene después de la adsorción por ello el estudio se centra en la adsorción, sobre todo en el carbón activado que es donde se realiza dicha operación.

Los reportes registrados en los meses de junio y julio del año 2007 (tiempo en el que se realizó el estudio) superaban el límite máximo propuesto por la planta duplicando su valor, esta es la base del estudio realizado que se expone a continuación, en el cual se sugieren dos alternativas como solución al problema.

3.2 Factores que afectan la Adsorción de Oro en el Carbón Activado

En los últimos años, el uso del carbón activado para la recuperación del oro de los licores de lixiviación, ha recobrado una considerable importancia, por lo cual se han realizado una serie de trabajos de investigación y desarrollo orientados a comprender la química y mecanismo del proceso. El objetivo es desarrollar un adecuado control en la operación de plantas metalúrgicas que utilizan el carbón activado, con una alta eficiencia de adsorción y mínima pérdida de oro en la solución barren.

Un resumen de los estudios y del análisis de las variables que afectan la adsorción del carbón activado, durante el proceso, se describen a continuación.

3.2.1 Efecto del Carbón Activado

Existen dos tipos de carbones activados generalmente usados y son el de forma cilíndrica y el granular, de estas dos formas el segundo constituye por sus características el más comercialmente usado en plantas metalúrgicas.

La mayoría de carbones adsorben el oro en mayor o menor grado, pero en la práctica la mayor parte de carbones activados son producidos específicamente a partir de la cáscara de coco o de la pepa de melocotón a un rango de 700 - 800°C en presencia de vapor. Estos tipos de carbones deberán proveer propiedades suficientes de dureza y abrasión mínimas, que permitan resistir las condiciones de trabajo a las que estarán expuestos durante los procesos de carga y *descarga de oro*.

Cuando el carbón activado recién inicia su trabajo de absorción, las extracciones de oro son muy eficientes y muy rápidas, pero conforme pasa el tiempo el carbón va perdiendo su eficiencia.

Esta eficiencia puede ser restituida mediante tratamiento del carbón en hornos de reactivación térmica y ciclos de lavado ácido, procesos que se complementan para permitir una eficiente actividad del carbón que nunca llegara a ser tan alta como el carbón nuevo.

Sin embargo, la regeneración de los carbones causa el ablandamiento del carbón, aumentando las pérdidas por atrición.

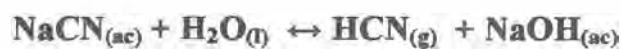
Generalmente el carbón envejecido que sale del proceso contiene una cantidad de oro entrampado difícil de desorber económicamente y que alcanza valores de 1 - 3 onzas de oro.

3.2.2 Efecto del pH

Ya que tanto los iones $H^+_{(ac)}$ como $OH^-_{(ac)}$ tienden a ser adsorbidos por el carbón, el pH afecta la capacidad de adsorción. Tal como es mostrado por las isotermas de adsorción en la figura 3.1

La capacidad de adsorción del oro desde soluciones cianuradas por el carbón puede ser significativamente aumentada, reduciendo el pH aun a rangos cercanos al ácido.

Para la adsorción del carbón, se recomiendan un pH de 10. Debajo de estos niveles, el cianuro se hidroliza formando HCN con las correspondientes pérdidas y posibles problemas de contaminación ambiental.



Sin embargo, cuando el pH es incrementado demasiado, la carga de oro en el carbón es definitivamente inhibido.

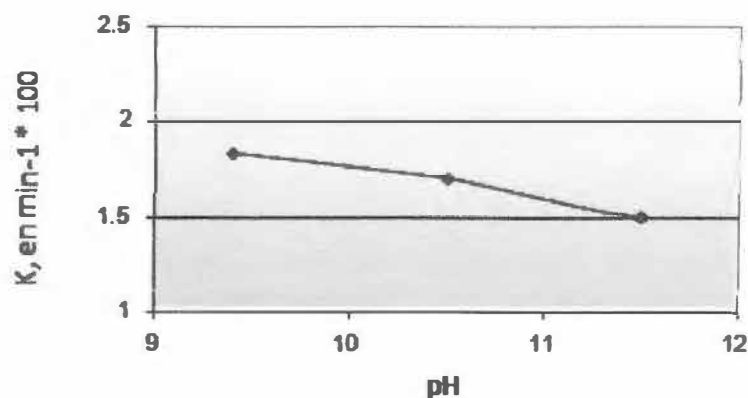


Figura 3.1: Efecto del pH en el equilibrio de carga de oro en el carbón

3.2.3 Efecto de la Concentración de Cianuro

La movilidad de los iones parece estar mayormente influenciada por la cantidad de cianuro libre, pues un incremento de este trae como consecuencia un efecto adverso en la capacidad y cantidad de carga.

Por otro lado, si el nivel de cianuro libre decae debajo de ciertos límites, entonces el oro no será adsorbido correctamente. Además si la carga se realiza en presencia de una concentración de cianuro demasiado baja, el carbón no se desorberá fácilmente.

Investigadores recomiendan usar alrededor de 150 ppm de $\text{CN}^-_{(\text{ac})}$ a fin de mantener una adecuada selectividad y recuperación de oro y plata sobre el carbón y por ende una satisfactoria operación de re - extracción

3.2.4 Efecto de la Concentración de Oro

De acuerdo a estudios de investigación realizados se ha comprobado que la capacidad de equilibrio del carbón se encuentra relacionada en forma proporcional a la concentración de oro en la solución cianurada.

Se ha encontrado que la aproximación al equilibrio es particularmente más lenta a bajas concentraciones de oro. Por lo que será necesario un mayor tiempo de residencia o incrementar la cantidad de carbón a fin de conseguir bajos contenidos de oro en las colas. La segunda opción significaría que la carga de oro en el carbón será significativamente menor a su capacidad de equilibrio de carga.

3.2.5 Efecto de la Temperatura

La capacidad de carga de oro en el carbón activado decae muy rápidamente con el incremento de la temperatura. De esta manera se ha observado un marcado decrecimiento de la actividad del carbón a medida que la temperatura se va incrementando.

Se puede afirmar que todos los circuitos de adsorción operan a temperatura ambiente, mientras que la desorción es realizada a temperaturas cercanas al punto de ebullición.

3.2.6 Efecto del Tamaño de la Partícula

La velocidad de adsorción está afectada notablemente por el tamaño de partícula de carbón. Partículas más pequeñas para una misma masa de carbón, mejoran la adsorción del oro (como era de esperar por el incremento en área superficial). En la figura 3.2 se muestra dicho efecto.

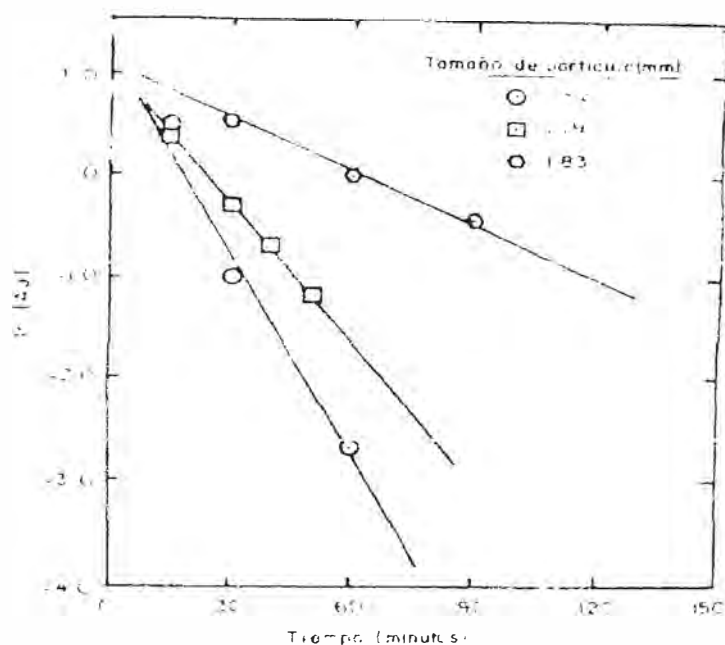


Figura 3.2: Efecto del tamaño de partícula en la velocidad de adsorción de oro

3.2.7 Adsorción de Otros Metales

A pesar que el carbón activado es generalmente muy selectivo para el cianuro de oro, el cianuro de plata es también adsorbido con eficiencia. Además la presencia de altas concentraciones de cianuros complejos de cobre, níquel, y hierro pueden causar una notable reducción en la adsorción de oro por el proceso de adsorción

competitiva.

La presencia de estos metales y el efecto en la adsorción de oro se revisa a continuación:

- **Plata**

La presencia de plata en altas concentraciones con respecto al oro, aumenta significativamente los requerimientos de carbón activado, debido a que se adsorbe junto con el oro. Por este motivo las soluciones de lixiviación de minerales, ricos en plata son tratadas por precipitación con polvo de zinc. De acuerdo a Shoemaker cuando el contenido de oro y plata (Au + Ag) en el mineral es mayor que 17 g/ton se recomienda el uso de zinc (Proceso de Merrill-Crowe)

- **Cobre**

El comportamiento del cobre depende de las condiciones químicas de la solución, ya que bajo ciertas condiciones se carga más que el oro desplazándolo y bajo otras condiciones no se carga mayormente.

Los parámetros que afectan la carga del cobre son la concentración de NaCN y el pH. Ambos efectos se muestran en la tabla 3.1 observándose que la carga de oro aumenta cuando el pH o la concentración de NaCN, disminuye.

El cobre se carga muy bien desde soluciones a pH 5, mientras que muy poco cobre se carga a pH 10,5. Otro aspecto importante de destacar es que a altas razones de concentración CN/Cu la carga de cobre disminuye rápidamente indicando que el complejo $\text{Cu}(\text{CN})_2$ se carga bien mientras que la especies $\text{Cu}(\text{CN})_3$ y $\text{Cu}(\text{CN})_4$ no lo hacen apreciablemente.

Tabla 3.1: Efecto de la concentración de NaCN y pH en la carga de oro. Condición: Au en solución 9,2 ppm

Cu en solución (ppm)	NaCN agregado (ppm)	pH	Au en carbon (ppm)
0	0	10,5	44 000
0	0	5,0	67 400
0	300	10,5	34 500
0	300	5,0	60 000
80	300	10,5	33 460
80	300	5,0	19 800

Fuente: Introducción al proceso de recuperación de oro mediante carbón activado

- **Calcio, Magnesio, Potasio**

Estos elementos están normalmente presentes en las soluciones de cianuración y pueden adsorberse en el carbón activado en cantidades que aumentan con el pH, el tiempo de contacto y la concentración en solución.

El calcio es un grave problema para el carbón activado, cuando está presente como carbonato de calcio. Como una observación empírica se ha determinado que 6 g/l de calcio en un circuito no produce mayores efectos negativos, pero si se llega a 10 g/l el problema es notorio.

3.3 Contenido de Carbonato de Calcio en el Proceso

De todos los factores que influyen en la adsorción del oro, la adsorción de otros metales es de suma importancia ya que compiten con el oro en esta adsorción dejando oro en la solución y aumentando su contenido en la solución barren.

La proporción de oro y plata es difícil de manejar en planta ya que esta se obtiene del mineral que se está tratando.

El mineral tratado no contiene cobre en proporciones considerables.

El contenido de carbonatos de calcio es alto ya que este se forma por reacciones de cal que se utiliza para mantener un pH alrededor de 10. Por ello se realizó un estudio del contenido de carbonatos de calcio en cada parte del proceso y como su presencia influye en cada uno de ellos.

3.3.1 Soluciones Cianuradas

El proceso es un circuito cerrado.

El riego del PAD se realiza con soluciones que contienen 50 ppm de CN^- , las cuales disuelven el oro y se juntan en dos pozas; la Poza de Operaciones (solución con alto contenido de oro) y la Poza de Menores Eventos (solución de contenido de oro menor), estas soluciones alimentan las plantas de carbón activado obteniendo soluciones de bajo contenido de oro llamadas Barren y Recirculación, a las soluciones se le añade CN^- para cumplir con el parámetro y son utilizadas para el riego del PAD.

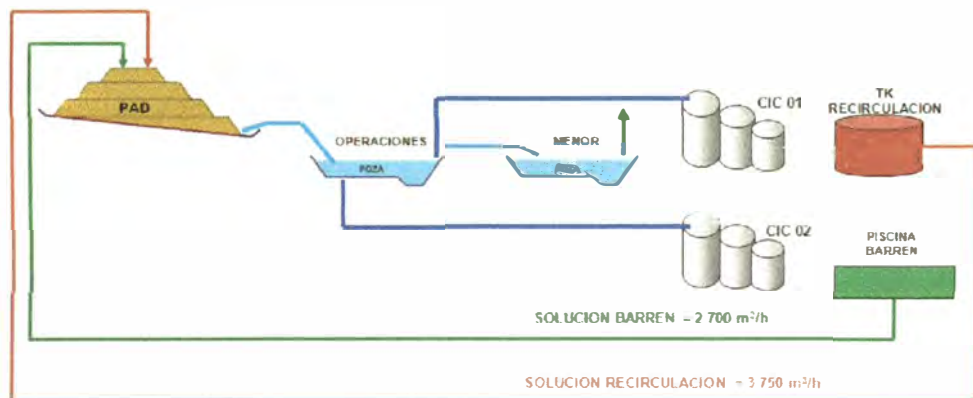


Figura 3.3: Recorrido de Soluciones Cianuradas en el Proceso de Recuperación de Oro.

Se midió el contenido de carbonato de calcio en estas soluciones cuyo resultado se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Medida de Carbonato de Calcio en solución en ppm

Muestra	Poza Operaciones	Barren Planta	Recirculación Planta
1	290,50	289,00	288,50
2	298,50	305,50	312,50
3	312,00	310,50	343,50
4	298,00	296,50	311,50
5	297,50	301,50	321,50
6	276,50	273,50	259,50
7	266,50	281,50	274,50
8	282,50	272,50	277,50
9	288,00	298,50	286,50
10	256,50	293,50	254,50
11	286,50	302,50	271,00
12	274,50	282,00	272,00
13	264,50	282,50	255,00
14	272,00	273,00	261,00
15	259,50	282,50	269,00
16	274,00	269,50	278,50
17	269,50	277,00	259,50
18	284,50	297,50	289,50
19	262,50	263,00	262,50
20	269,50	272,50	259,00
21	271,50	282,50	263,50
22	276,00	273,50	259,50
23	277,00	262,50	245,00
24	280,50	291,00	289,00
25	285,50	305,50	274,50
Promedio	278,96	285,58	277,54

Fuente: Propia

3.3.2 Columnas de Carbón

La Quinoa cuenta con 2 plantas de adsorción por carbón activado.

La planta 1 posee 3 secuencias de 5 columnas cada una.

La planta 2 posee 4 secuencias de 6 columnas cada una.

La figura 3 4 muestra una vista panorámica de las columnas de carbón de la planta 2.



Figura 3.4: Vista de las columnas de carbón de la Planta N° 2

Cada columna está cargada con 4 a 4.5 toneladas de carbón. El carbón nuevo o regenerado ingresa al sistema por la quinta o sexta columna de la planta 1 y la planta 2, respectivamente.

El tiempo de residencia depende del contenido de oro en la solución rica, pero varía entre 1 a 2 días.

La descarga del oro se realiza con las primeras columnas de cada secuencia, pasando la segunda columna a la primera, la tercera columna a la segunda y así sucesivamente. Quedando la última columna vacía ingresando el carbón nuevo o regenerado en esta posición.

Se realiza el seguimiento del contenido de carbonatos en carbón en columnas desde el ingreso de carbón al sistema (columna 5) hasta su salida (columna 1), el objetivo de este muestreo es tener *un valor aproximado del aumento de carbonatos en carbón en el sistema de adsorción.*

En la tabla 3.3 se registran los resultados de las muestras tomadas en el sistema 2.

Tabla 3.3: Resultados de muestras de Carbonato de Calcio en carbón de la Secuencia 2

	Columna	Fecha	Carbonatos en Carbón (Kg CaCO ₃ /TM Carbón)	Incremento Carbonatos por columnas	Incremento Carbonatos Totales
Tren 2	5	28/09/2007	1,449		
	4	1/10/2007	2,162	0,713	0,713
	3	4/10/2007	2,185	0,023	0,736
	2	9/10/2007	2,277	0,092	0,828
	1	10/10/2007	3,933	1,656	2,484

El incremento de carbonatos por columnas es aquel incremento de carbonatos cuando el carbón pasa de una columna a otra.

El incremento de carbonatos totales es respecto a la primera columna, es decir, el total de carbonatos en carbón aumentaron en 2,484 Kg. CaCO₃/TM Carbón.

La grafica de la figura siguiente muestra la variación de carbonatos por columna en el Tren 2.

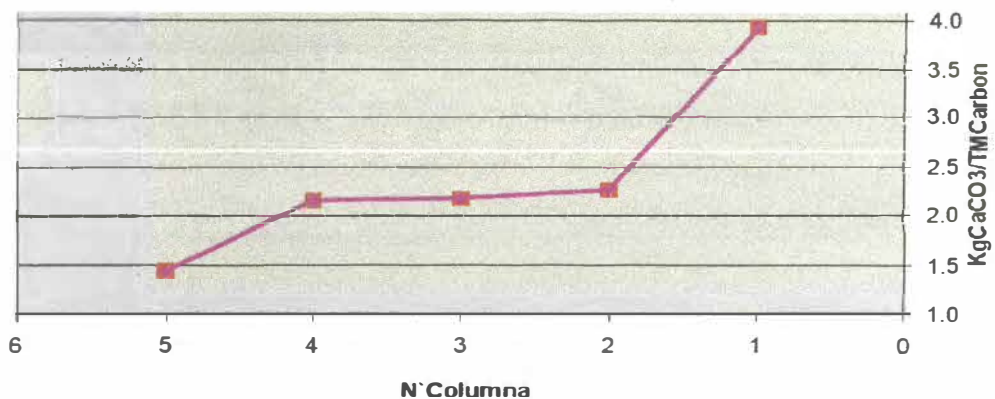


Figura 3.5: Variación de Carbonatos en Columnas Secuencia 2 (Tren 2)

La tabla 3.4 muestra los resultados de las muestras tomadas en el sistemas 3.

Tabla 3.4: Resultados de las muestras de Carbonato de Calcio en carbón de la Secuencia 3

Tren 3	Columna	Fecha	Carbonatos en Carbón (Kg CaCO ₃ /TM Carbón)	Incremento Carbonatos por columnas	Incremento Carbonatos Totales
	5	28/09/07	1,265		
	4	2/10/2007	1,311	0,046	0,046
	3	4/10/2007	1,426	0,115	0,161
	2	9/10/2007	2,599	1,173	1,334
	1	10/10/2007	2,645	0,046	1,380

El incremento de carbonatos totales es respecto a la primera columna, es decir, el total de carbonatos en carbón aumentaron en 1,38 Kg. CaCO₃/TM Carbón.

La grafica de la figura 3.6 muestra la variación de carbonatos por columna en el Tren 3

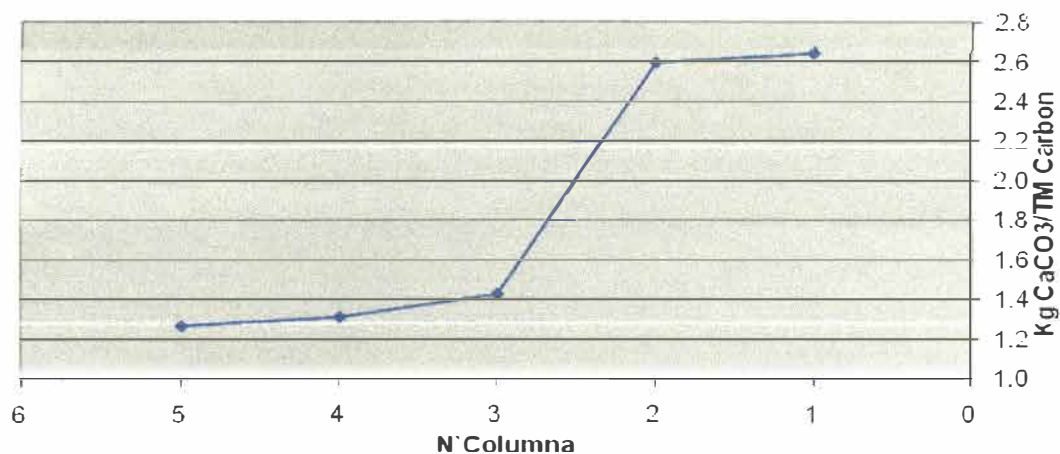


Figura 3.6 Variación de Carbonatos en Columnas Secuencia 3

El aumento de carbonatos en carbón por columnas no sigue una tendencia definida, pero se observa que el mayor incremento de carbonatos se da en las columnas 1 ó 2, esto es porque la solución rica que llega de Poza de Operaciones contiene un alto contenido de carbonatos en solución de aproximadamente 300

ppm CaCO_3 , y la adsorción de estos carbonatos compiten con la adsorción de oro.

3.3.3 Regeneración Química y Desorción

La regeneración química o lavado ácido se realiza mediante los pasos que se indican (ver el esquema de la figura 3.7):

- ✓ El carbón cargado (conteniendo oro) se toma de las primeras columnas de dos circuitos de columnas (trenes) conteniendo entre las dos 8-9 toneladas de carbón.
- ✓ Pasa por una zaranda e ingresa al tanque de regeneración química por la parte superior. El tanque se cierra después de que todo el carbón contenido en las columnas se ha zarandeado.
- ✓ Por la parte inferior del tanque de regeneración química ingresa 0.8 m^3 de HCl al 32%.
- ✓ Junto con el HCl ingresan al sistema 100 m^3 de H_2O
- ✓ La mezcla ácido y agua entran en contacto con el carbón activado, este contacto es continuo y se efectúa hasta completar los 100 m^3 de H_2O .
- ✓ Luego esta mezcla es desechada en los sumideros después de pasar por un par de filtros para retener el carbón.
- ✓ El carbón se envía al Tanque Stripp para su desorción.

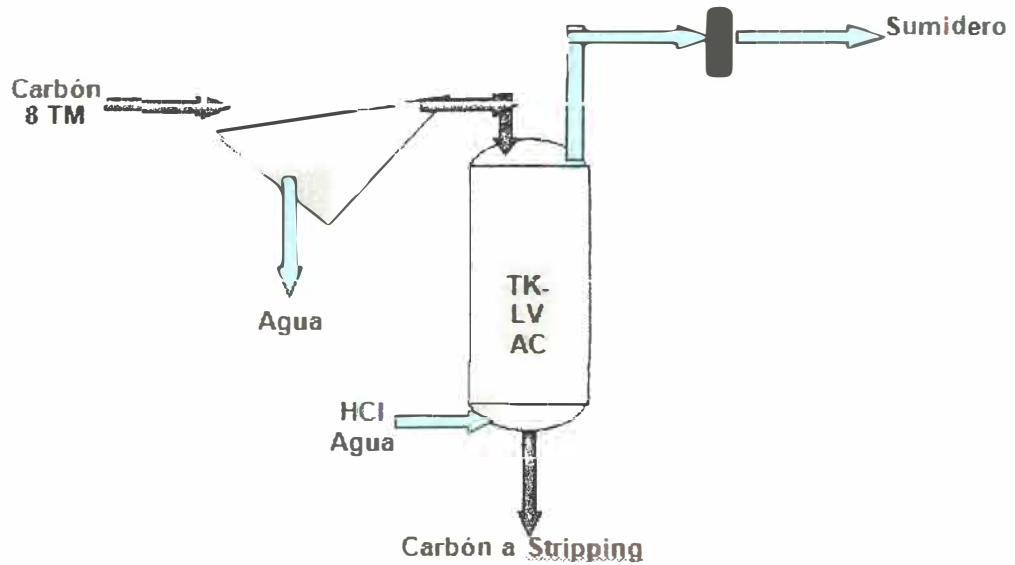


Figura 3.7 Diagrama del Proceso de Regeneración Química

La desorción se realiza de la siguiente manera (ver figura 3.8):

- ✓ Primero se preparan los reactivos a utilizar, Cianuro de Sodio y Soda Cáustica. Para esta preparación existen Procedimientos Seguros de Trabajo e Instrucciones de Operación (Hojas MSDS)
- ✓ Se llena el Tanque de la solución Presoak con $1,5 \text{ m}^3$ de soda cáustica y $1,0 \text{ m}^3$ de cianuro de sodio, luego se enrasa el tanque hasta un 90% de su nivel con agua.
- ✓ Se enciende el agitador del tanque para mezclar y acondicionar las soluciones de soda y cianuro.
- ✓ Se llena el Tanque de desorción (Strip) con carbón cargado (conteniendo oro), aproximadamente entre 8,0 a 9,0 toneladas, que provienen del tanque de regeneración química o lavado ácido
- ✓ Se mide el nivel de carbón por la tapa superior del tanque. Después de la medida esta tapa debe ser cerrada.

- ✓ Se hace el llenado del tanque de combustible para dar funcionamiento a los calentadores.
- ✓ Se inicia la secuencia operacional o automática del strip.
- ✓ Por último se realiza la descarga de carbón descargado hacia el tanque de carbón separado.

En la secuencia se desarrolla mediante los siguientes pasos:

Paso 1: la solución Presoak pasa por un intercambiador pequeño y luego por un intercambiador grande en donde intercambia calor con combustible, después de pasar por estos dos intercambiadores ingresa al tanque de desorción, luego se pasar por el tanque de desorción se envía nuevamente al tanque presoak realizando una recirculación entre los dos tanques. Cuando la solución presoak llega a 80°C termina el primer paso.

Paso 2: en el segundo paso se continúa recirculando la solución entre el tanque presoak y el tanque de desorción hasta que la temperatura de proceso llegue a 120°C. El calentador de aceite trabaja a fuego alto.

Paso 3: en el tercer paso se envía la solución que sale del tanque de desorción al tanque de eluido o tanque de solución súper rica. Se cierra el ingreso de la solución al tanque presoak, se sigue con las mismas condiciones una temperatura de 120° C y una presión de 235 KPa, la diferencia es que la solución ya no regresa al tanque presoak, sino que se envía al tanque de solución rica dejando de recircular.

Paso 4: cuando el nivel del tanque presoak llega a 11%, ingresa al tanque de desorción solución intermedia, descargando la

solución al tanque de solución rica, la etapa trabaja a 120°C y 235 KPa y termina cuando se ha pasado 85 m³ de solución del tanque de solución intermedia hacia el tanque de solución rica. Esta etapa, también es conocida como la primera etapa de enjuague del carbón depositado en el tanque de strip.

Paso 5: luego de este primer enjuague se hace pasar agua tratada proveniente del tanque de almacenamiento de dicha agua, pasa por los intercambiadores de calor, el strip y se almacena en el tanque de solución intermedia, en este paso se mantiene los parámetros de operación, este paso termina cuando se ha pasado 70 m³ de solución de agua tratada hacia el tanque de solución intermedia.

Paso 6: se trabaja con el calentador de aceite apagado, se *continúa con el enjuague del paso 5 pero con el calentador de aceite apagado* hasta que se haya llenado 30 m³ de agua tratada el tanque de solución intermedia.

Como se observa los 100 m³ de solución del tanque de solución intermedia utilizado en la primera etapa del enjuague se repone en la segunda etapa, esta solución de la segunda etapa de enjuague del carbón se utilizará en el siguiente strip.

Paso 7: finalizado el strip se apaga la bomba de recirculación de aceite y la bomba de agua tratada y se cierran todas las válvulas. Los pasos de la desorción terminan en este paso, la solución que se encuentra en el tanque de eluido luego es enviada a la planta de precipitación con zinc (Merril Crowe).

Desorción

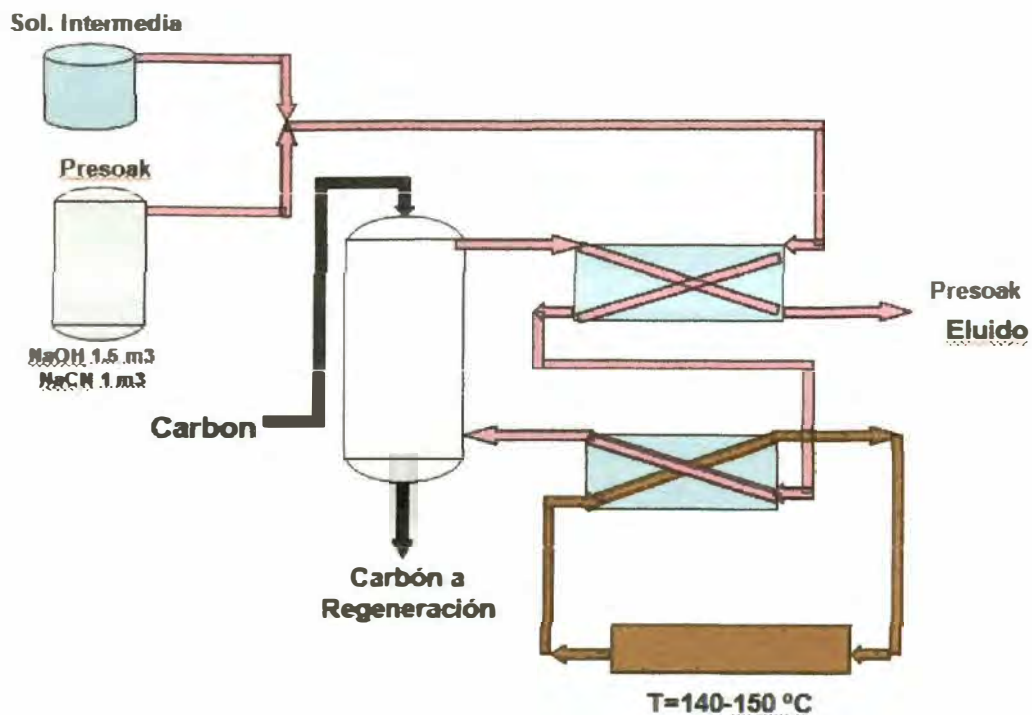


Figura 3.8 Diagrama de flujo del proceso de desorción.

Se mide el contenido de carbonato de calcio en carbón activado en muestras tomadas antes de realizarse la regeneración química, después de la regeneración química y después de de desorción, cuyos resultados se pueden ver en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Contenido de carbonato de calcio en carbón con Regeneración Química.

Lote	Antes de la Regeneración Química	Después de la Regeneración Química	Después de la Desorción
	KgCaCO ₃ /TM Carbón	KgCaCO ₃ /TM Carbón	KgCaCO ₃ /TM Carbón
4974	4,014	0,000	2,059
4975	3,818	0,000	2,070
4976	4,209	0,000	2,047

Como se puede observar en la tabla 3.5 el carbón después de la regeneración química no contiene carbonato de calcio, pero estos se incrementan hasta aproximadamente 2 Kg. CaCO_3 /TM Carbón Activado luego de la desorción.

La regeneración química no se realiza antes de todas la desorciones, existen corridas en las que se realiza la desorción sin haberse realizado la regeneración química.

Se midió el contenido de carbonato de calcio en muestras de carbón activado en las cuales no se realizó la regeneración química, las muestras fueron tomadas antes de realizarse la desorción y después de la desorción, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.6 nos muestra los resultados.

Tabla 3.6: Contenido de carbonato de calcio en carbón sin Regeneración Química

Lote	Carbón Cargado (antes de la desorción)	Carbón Descargado	Aumento de carbonatos
	Kg CaCO_3 /TM Carbón	Kg CaCO_3 /TM Carbón	Kg CaCO_3 /TM Carbón
4977	3,450	7,728	4,278
4978	3,197	7,061	3,864
4979	3,243	5,796	2,553
4980	2,622	8,556	5,934

3.4 Eliminación de carbonato de calcio en Carbón Activado por Regeneración Química

Cuando el carbón activado entra en contacto con la solución rica el oro contenido en esta solución es adsorbido por el carbón activado. Esta solución contiene a la vez carbonato de calcio en solución que se incrustan en las intersecciones del carbón.

El carbonato de calcio incrustado en el carbón activado debe ser eliminado

para obtener características similares al carbón activado original y ser ingresado nuevamente al circuito.

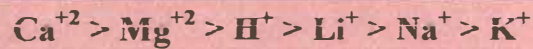
La regeneración química se realiza para disminuir o eliminar el contenido de carbonato de calcio en carbón.

Se utiliza ácido clorhídrico el cual reacciona con los carbonatos de calcio formando sales que luego son eliminadas. La reacción que se produce es la siguiente:



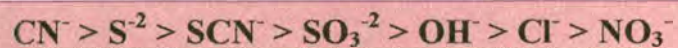
3.4.1 Influencia del contenido de Carbonato de Calcio en la Capacidad de Carga de Carbón Activado

La capacidad de carga del carbón activado se incrementa con el incremento de cationes en solución en el siguiente orden:



El complejo aurocianuro de calcio es el que más fuerte se adhiere al carbón y el de potasio es el más débil.

La capacidad de carga decrece con el incremento en la concentración de aniones en la solución en el siguiente orden:



Una sal tal como CaCl_2 refuerza la carga, mientras que la presencia de la sal KCN inhibe la carga.

El CN^- compite fuertemente para adsorberse en sitios activos del carbón.

El complejo que se encuentra en la solución es aurocianuro de sodio, el cual compite con el ion Ca^{+2} que es fuertemente incrustado en las

intersecciones del carbón activado.

Para demostrar lo mencionado se realizaron pruebas a nivel laboratorio, como se muestra en la figura 3.8.

Procedimiento:

- ✓ Se puso en contacto 100mL de una solución de 1ppm de concentración de oro con 10g de carbón activado de diferente contenido de carbonato de calcio.
- ✓ Por espectrometría se midió el contenido de oro en solución cada cinco minutos desde el inicio del contacto.
- ✓ Haciendo un balance de masa se obtiene el contenido de oro adsorbido por el carbón activado.

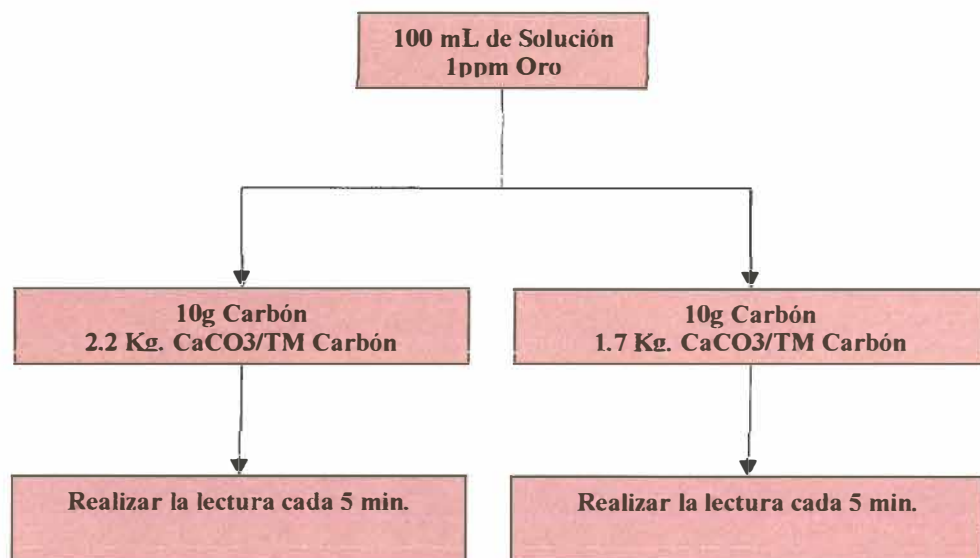


Figura 3.9 Diagrama de flujo de pruebas a nivel laboratorio.

El carbón activado con el que se realiza la primera prueba se obtuvo de un muestreo antes de realizarse la regeneración química, cuyo contenido de carbonato de calcio era de 2.2 Kg. CaCO₃/TM Carbón.

El carbón activado con el que se realizó la segunda prueba se obtuvo de un muestreo después de realizarse la regeneración química, el contenido de carbonato de calcio de este carbón fue 1,7 Kg. CaCO_3 /TM Carbón.

En la Fig 3.10 se observa que a mayor contenido de carbonato de calcio en el carbón existe una menor adsorción de oro llegando a disminuir hasta casi la mitad de su carga después de 30 minutos de estar en contacto.

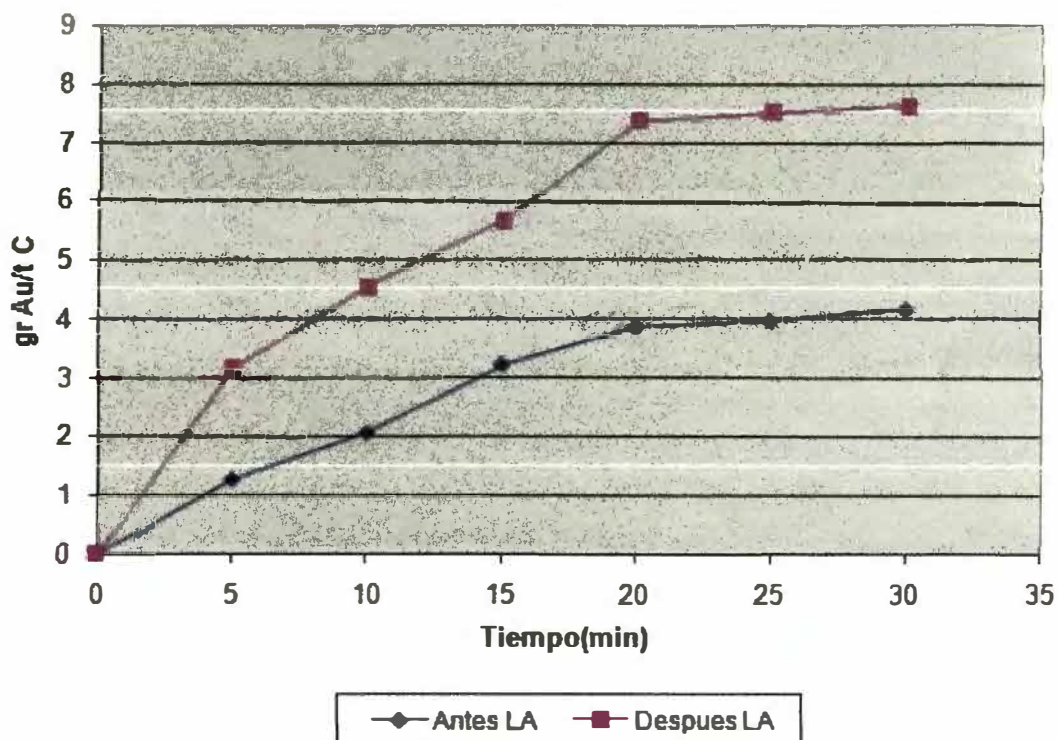


Figura 3.10 Variación de Adsorción de oro con el contenido de carbonatos en carbón a Nivel Laboratorio.

En el proceso de adsorción de oro mediante carbón activado de esta planta, la solución a la salida de las columnas de carbón activado se denomina Solución Barren, el contenido de oro en esta solución es un parámetro importante del proceso ya que tiene una relación inversa con la capacidad de carga del carbón activado, es decir, si el contenido de oro en la solución barren es alta se debe a que la

capacidad de carga de carbón activado es baja.

En la tabla 3.7 se tabulan datos de la relación entre el contenido de oro en la solución barren (a la salida de las de columnas de carbón activado) y el contenido de carbonato de calcio en carbón activado.

Tabla 3.7: Contenido de oro y CaCO_3 en carbón activado

Medida	Promedio de $\text{KgCaCO}_3/\text{TM carbón}$	Oro en Barren (gr/m^3)
1	6,29	0,020
2	6,41	0,020
3	6,51	0,020
4	5,01	0,010
5	3,73	0,021
6	3,27	0,015
7	3,74	0,014
8	5,41	0,023
9	5,26	0,026
10	4,83	0,015
11	3,20	0,018
12	2,94	0,010
13	4,99	0,011
14	5,87	0,014
15	5,65	0,017
16	4,88	0,031
17	4,13	0,018
18	5,02	0,031
19	6,02	0,039
20	5,68	0,045
21	5,65	0,022
22	11,15	0,034
23	10,25	0,041
24	12,45	0,033
25	10,17	0,029

Se ha graficado los datos obtenidos en la tabla 3.7. Estos se muestran

a continuación en la figura 3.11.

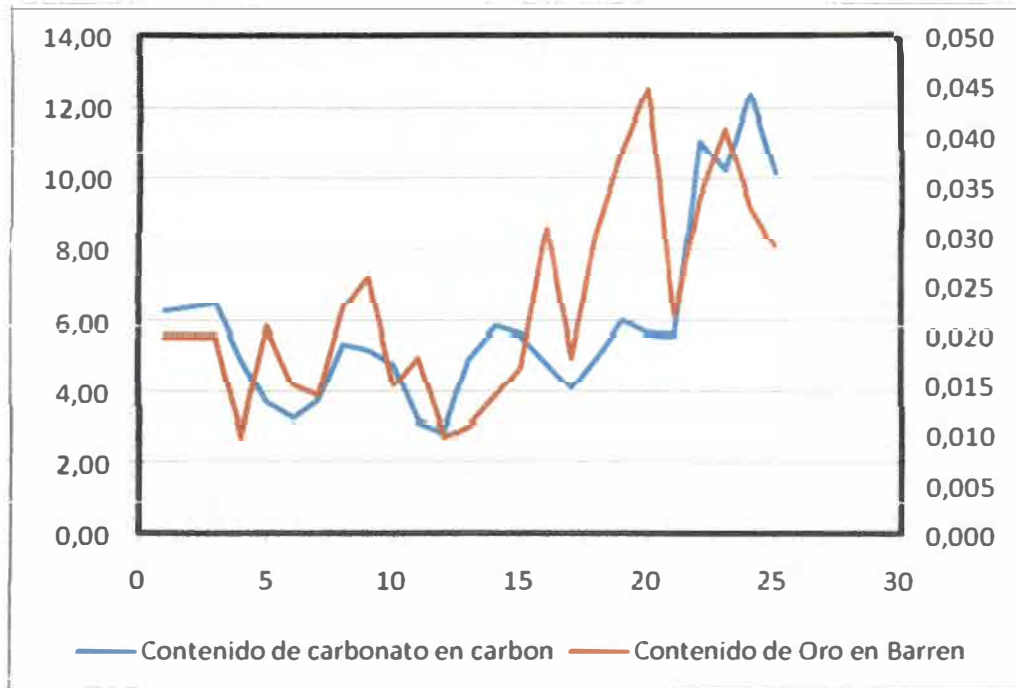


Figura 3.11 Gráfica contenido de carbonato de calcio en carbón vs contenido de Oro en solución Barren

Se puede deducir que el contenido de carbonato de calcio en carbón activado disminuye la capacidad de carga del carbón debido los iones Ca^{+2} que se incrustan en las intersecciones del carbón activado disminuyendo la adsorción del oro.

Se debe aclarar que el contenido de carbonato de calcio en carbón activado no es el único factor que influye en el contenido de oro en la solución barren, pero se observa claramente que este contenido afecta a la capacidad de carga del carbón activado, puesto que cuando el contenido de carbonatos en carbón activado disminuye, disminuye el contenido de oro en la solución Barren también disminuye; cuando el contenido de carbonatos de calcio en carbón activado aumenta, aumenta el contenido de oro en la solución barren. Esta situación se observa en la figura 3.12.

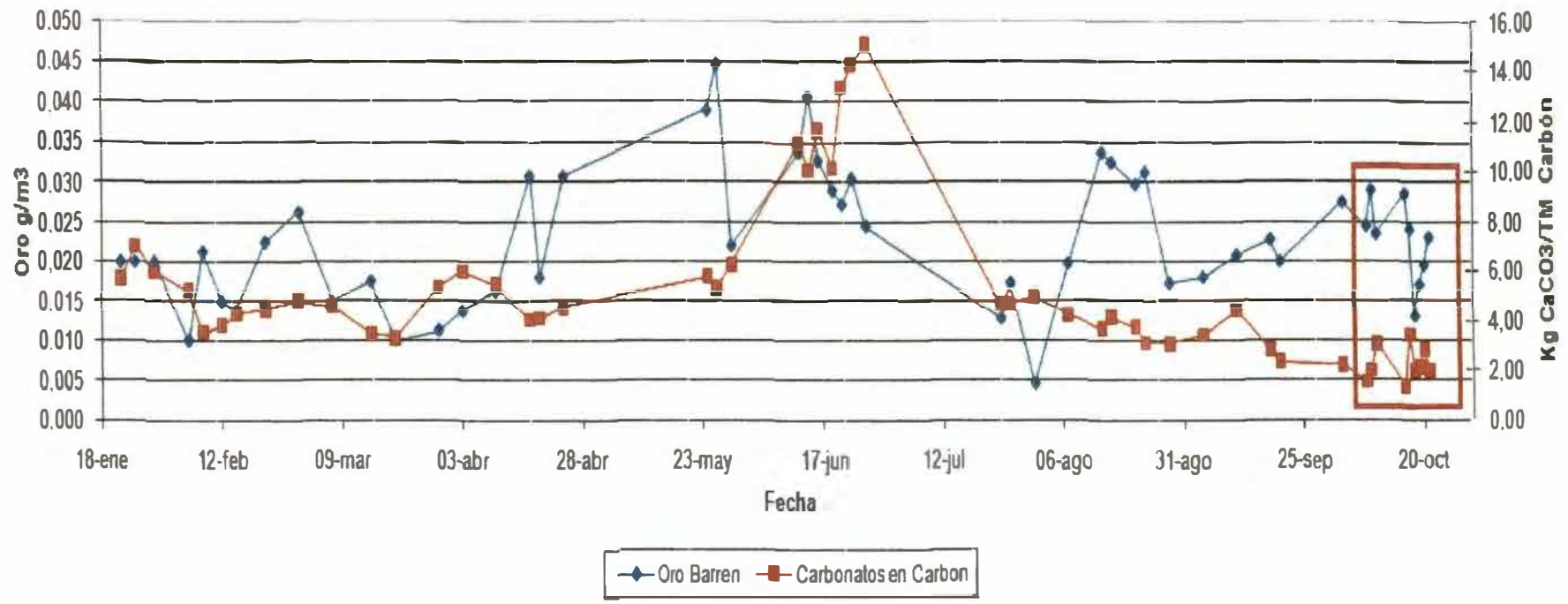


Figura 3.12 Contenido de Oro en solución Barren versus contenido de carbonatos de calcio en carbón a nivel industrial.

3.4.2 Parámetros utilizados en la Regeneración Química

Como se mencionó anteriormente la regeneración química se realiza de la siguiente manera:

- ✓ El carbón activado cargado (conteniendo oro) se toma de las primeras columnas de dos circuitos de columnas de carbón activado (7 columnas), el carbón activado de estas 2 columnas pesa aproximadamente entre 8-9 toneladas.
- ✓ El carbón activado de estas dos columnas pasa por una zaranda que permite que ingrese semiseco al tanque de regeneración química. El tanque se cierra después de que las 8-9 toneladas de carbón activado hayan ingresado.
- ✓ Por la parte inferior del tanque de regeneración química ingresa 0,8 m³ de HCl al 32% masa, al mismo tiempo ingresa al tanque 100 m³ de H₂O.
- ✓ La mezcla ácido y agua entran en contacto con el carbón activado dentro del tanque de regeneración química, este contacto es continuo, es decir; ingresa al sistema por la parte inferior y sale del sistema por la parte superior.
- ✓ La solución que se obtiene a la salida del tanque de regeneración química pasa por un filtro (para la retención del carbón activado) y luego es desechada en los sumideros.
- ✓ El carbón activado que permanece en el tanque de regeneración química se envía al Tanque Stripp para su desorción.

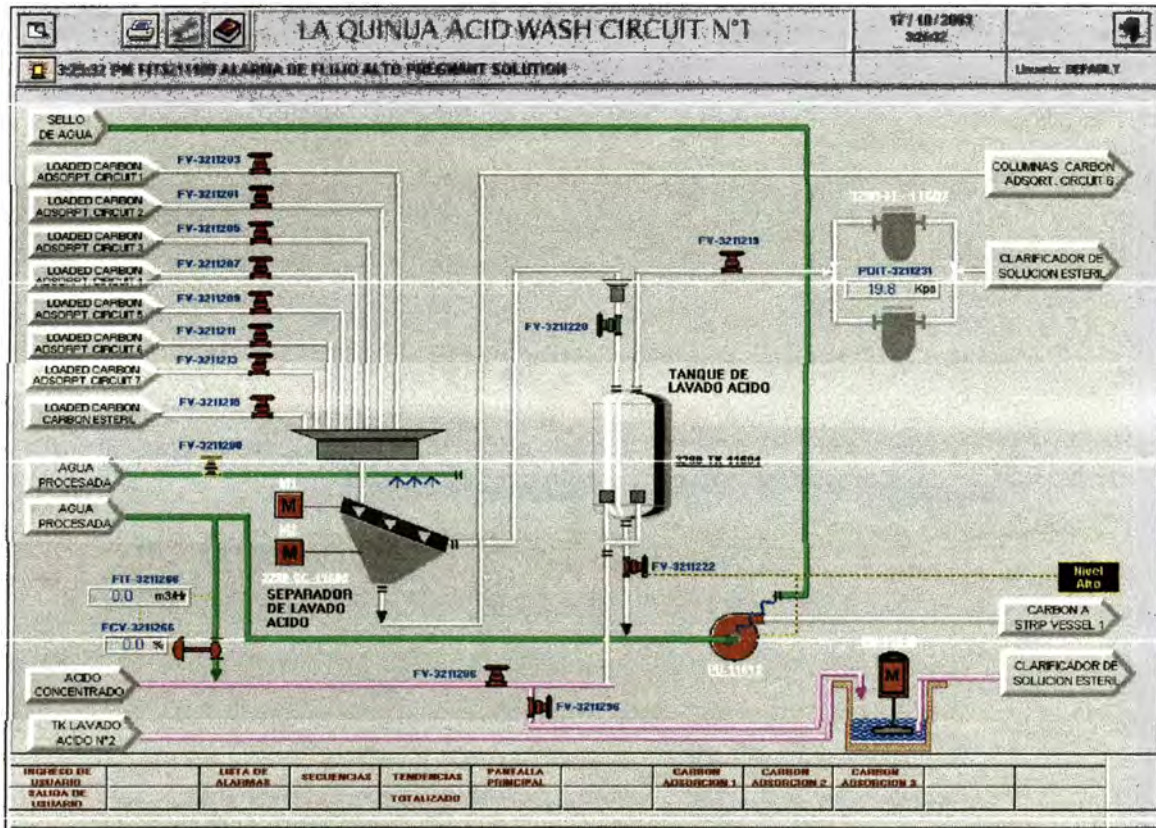


Figura 3.13 Esquema del Proceso de Regeneración Química

3.4.3 Reducción del consumo de HCl en la regeneración química

Uno de los problemas de realizar la regeneración química antes de realizar la desorción es el consumo de HCl, por lo que se estudió la manera de reducir este consumo.

La regeneración química se realiza para disminuir o eliminar el contenido de carbonato de calcio en el carbón activado después de su contacto con la solución rica.

Se utiliza ácido clorhídrico el cual reacciona con el carbonato de calcio formando sales que luego son eliminadas. La reacción que se produce es la siguiente:



De la reacción se deduce que se necesita la cantidad de $0,016\text{m}^3$ de HCl para reaccionar estequiométricamente con 1 Kg de carbonato de calcio presente en cada tonelada de carbón activado.

La tabla 3.8 se propuso como referencia para el uso del HCl en la regeneración química, se debe tener en consideración que el volumen de HCl recomendado es el doble del estequiométrico.

Cuando se realizó el estudio, el promedio de carbonatos de calcio en carbón era de 4 Kg. CaCO_3/TM Carbón, estequiométricamente la cantidad de HCl a utilizar era de $0,2\text{m}^3$, el volumen recomendado es de 2 veces el estequiométrico por lo que se utiliza $0,4\text{m}^3$ de HCl.

Se hizo una prueba a nivel laboratorio llevando los parámetros a utilizar a nivel industrial a este nivel y poder tener una noción de los resultados. Como parte de la prueba se realizó una modificación en el proceso de regeneración química, cambiándolo de un proceso continuo a un proceso batch.

Tabla 3.8: Condiciones de Proceso a Nivel Industrial y Nivel Laboratorio

PARAMETROS			
Nivel Industrial		Nivel Laboratorio	
Pureza HCl, %	32	Pureza HCl, %	32
ρ_{HCl} , Kg/l	1.159	ρ_{HCl} , Kg/l	1.159
V_{HCl} , m^3	0.4	V_{HCl} , ml	6
Agua, m^3	75	Agua, ml	1125
$M_{\text{Carbón}}$, TM	4	$M_{\text{Carbón}}$, g	120
Tiempo de Reposo, min	30	Tiempo de Reposo, min	30

El procedimiento realizado en las pruebas a nivel laboratorio es el siguiente:

- ✓ La muestra de carbón cargado (conteniendo oro) se toma de las primeras columnas de dos circuitos de columnas (trenes).
- ✓ Se mide el contenido de carbonato de calcio en el carbón activado
- ✓ El carbón activado se coloca en un vaso de precipitado de 500 ml.
- ✓ Se vierte HCl y luego agua hasta cubrir todo el carbón.
- ✓ La mezcla HCl y agua entran en contacto con el carbón activado y permanece en contacto por 30 minutos.
- ✓ Después de los 30 minutos se elimina el ácido clorhídrico contenido en el carbón activado con H₂O (este enjuague se simula con la ayuda de un agitador electromagnético).
- ✓ El agua es desechada.
- ✓ Se mide el contenido de carbonatos de calcio del carbón activado.

Los resultados son mostrados en la tabla 3.9 siguiente:

Tabla 3.9: Resultados de la prueba de regeneración química a nivel laboratorio

Prueba	Antes de la Regeneración Química	Después de la Regeneración Química
	KgCaCO ₃ /TM Carbón	KgCaCO ₃ /TM Carbón
1	3,116	0,000
2	3,576	0,000
3	3,668	0,000

Teniendo como base los resultados obtenidos en las pruebas a nivel laboratorio se realizaron las pruebas a nivel industrial con los parámetros mencionados en la tabla 3.8.

El procedimiento desarrollado para la prueba a nivel industrial es el siguiente:

- ✓ El carbón activado cargado (conteniendo oro) se toma de dos primeras columnas conteniendo aproximadamente 8 toneladas de carbón activado.
- ✓ Pasa por una zaranda e ingresa al tanque de regeneración química por la parte superior.
- ✓ Por la parte inferior del tanque de lavado ácido ingresa $0,4 \text{ m}^3$ de HCl al 32% (porcentaje en masa).
- ✓ Junto con el HCl ingresan al sistema H_2O hasta cubrir todo el carbón activado contenido en el tanque. Este volumen fue calculado y es aproximadamente 8 m^3 de H_2O .
- ✓ Se cierra el tanque de regeneración química.
- ✓ La mezcla ácido y agua entran en contacto con el carbón activado y permanece en contacto por 30 minutos.
- ✓ Después de los 30 minutos se elimina el ácido clorhídrico contenido en el carbón activado con 75 m^3 de H_2O .
- ✓ El agua es desechada en los sumideros después de pasar por un par de filtros para retener el carbón activado que puede llevar con ella.
- ✓ El carbón activado que permanece en el Tanque de regeneración química se envía al Tanque Stripp para su desorción.

Se midió el contenido de carbonato de calcio en carbón activado en muestras tomadas antes de realizarse la regeneración química,

después del reposo, después del enjuague con agua y después de la desorción (carbón descargado), los resultados se muestran en la tabla 3.10

Tabla 3.10: Contenido de carbonato de calcio en carbón activado, regeneración química con reposo

Lote	Carbón Cargado (Antes de la Regeneración Química)	Carbón Cargado (Después del reposo- Regeneración Química)	Carbón Cargado (Después de la Regeneración Química)	Carbón Descargado (Después de la Desorción)
	Kg. CaCO ₃ /TM Carbón	Kg. CaCO ₃ /TM Carbón	Kg. CaCO ₃ /TM Carbón	Kg. CaCO ₃ / TM Carbón
4998	1.357	6.348	0.000	0.000
5000	3.404	2.162	0.000	3.910
5004	2.737	2.599	0.000	0.000
5006	2.507	1.886	0.000	0.000
5008	5.474	7.199	0.000	4.761

Se observa que en ocasiones aumenta el contenido de carbonato de calcio en el carbón activado después del reposo, esto pudo ser por el tipo de muestreo que se realizó, las muestras se obtenían de la parte superior del tanque, teniendo en cuenta que el ingreso del HCl al tanque de regeneración química se realizaba por la parte inferior se puede asumir que en la parte superior del tanque la concentración del ácido es menor que en la parte posterior y el carbón activado estaba en contacto directo con agua.

El agua con la que se realiza la regeneración química es agua tratada de AWTP (Acid Water Treatment Plant) conteniendo aproximadamente 200 ppm CaCO₃.

El uso de agua tratada para la remoción del ácido es una observación importante, la regeneración química se realiza para eliminar carbonato de calcio por reacción con ácido clorhídrico, luego el ácido utilizado es removido del carbón con agua tratada

de alto contenido de carbonato de calcio, como consecuencia de esto el carbonato de calcio puede volver a precipitar e incrustarse nuevamente en los intersticios del carbón activado.

Se tomaron muestras de carbón activado después de la remoción del ácido y se midió el contenido de carbonato de calcio en carbón activado teniendo como resultado la eliminación total de ellos descartando así cualquier influencia del uso de agua tratada en la regeneración química.

Otra observación importante es el contenido de carbonato de calcio después de la desorción, en algunas muestras aumenta el contenido de carbonato de calcio en la desorción hasta en 4,76 Kg CaCO₃ / TM Carbón. Esta observación motiva a investigar las condiciones de la desorción que puedan influir en la precipitación de este carbonato.

El volumen de HCl utilizado en la regeneración química (método anterior) se encontraba en exceso, con la cantidad proporcional a la cantidad de carbonato de calcio se reduce el consumo de HCl, el cambio en el proceso aumenta el tiempo de contacto entre el ácido y el carbonato de calcio optimizando así la regeneración química, reduciendo el contenido de este carbonato en los intersticios del carbón activado, aumentando la capacidad de carga del carbón.

La regeneración química del carbón activado no se realiza antes de cada desorción, existieron ocasiones en las que se hizo un by pass tomando el carbón activado de dos columnas de carbón *enviándolas directamente al tanque de desorción.*

Se mide el contenido de carbonato de calcio en muestras de carbón activado tomadas antes de realizarse la desorción y después de la desorción para estos casos (no se realizó la regeneración química antes de la desorción), los resultados se muestran en la tabla 3.11.

Tabla 3.11: Contenido de carbonato de calcio en carbón activado sin regeneración química.

Lote	Carbón Cargado (antes de la desorción)	Carbón Descargado (Después de la Desorción)	Aumento de carbonatos
	Kg. CaCO ₃ /TM Carbón	Kg. CaCO ₃ /TM Carbón	Kg. CaCO ₃ /TM Carbón
4989	1.541	2.737	1.196
5003	2.139	6.279	4.140
5005	2.806	6.049	3.243
5007	1.955	7.981	6.026

El contenido de carbonato de calcio en el carbón activado descargado aumenta respecto al carbón cargado hasta en aproximadamente 6 kg CaCO₃/TM carbón, a diferencia de cuando se realiza la regeneración química antes de la desorción llegando incluso a eliminar totalmente el contenido de carbonatos de calcio en carbón activado.

Comparando los dos métodos (el método continuo y el método con reposo), el segundo tiene resultados más efectivos.

Se realizó una segunda prueba utilizando la cantidad proporcional del HCl, en este caso 0,3 m³ y variando el tiempo de contacto. El procedimiento se describe a continuación:

- ✓ El carbón cargado (conteniendo oro) se toma de las primeras columnas de dos circuitos de columnas (trens) conteniendo entre las dos 8-9 toneladas de carbón.
- ✓ El carbón activado pasa por una zaranda e ingresa al tanque regeneración química por la parte superior.
- ✓ Por la parte inferior del tanque de lavado ácido ingresa $0,3 \text{ m}^3$ de HCl al 32 % (en masa).
- ✓ Junto con el HCl ingresan al sistema H_2O hasta cubrir todo el carbón activado contenido en el tanque de regeneración química. Este volumen fue calculado y es aproximadamente 8 m^3 de H_2O .
- ✓ Se cierra el tanque de regeneración química.
- ✓ La mezcla ácido clorhídrico y agua entran en contacto con el carbón activado y permanece en contacto por 45 minutos.
- ✓ Después de los 45 minutos se elimina el ácido contenido en el carbón activado con 75 m^3 de H_2O .
- ✓ Luego el agua es desechada en los sumideros después de pasar por un par de filtros para retener el carbón activado que puede llevar con ella.
- ✓ El carbón activado que se encontraba en el tanque de regeneración química se envía al Tanque Stripp para su desorción.

Se midió el contenido de carbonato de calcio en carbón activado en muestras tomadas antes de realizarse la regeneración química, después del reposo, después del enjuague con agua y después de la desorción (carbón descargado). En la tabla 3.12 se muestra un resumen de los resultados.

Tabla 3.12: Contenido de carbonato de calcio en carbón activado para la reducción de consumo de HCl utilizando 0,3 m³

Lote	Carbón Cargado (Antes de la Regeneración Química)	Carbón Cargado después del reposo (Regeneración Química)	Carbón Cargado después de la Regeneración Química	Carbón Descargado (Después de la Desorción)
	Kg. CaCO ₃ /TM Carbón	Kg. CaCO ₃ /TM Carbón	Kg. CaCO ₃ /TM Carbón	Kg. CaCO ₃ / TM Carbón
5016	2.576	7.659	0.000	0.483
5018	4.094	8.257	0.000	2.691
5020	2.806	3.358	0.000	1.771
5022	4.945	8.648	0.000	5.106
5029	5.589	3.680	0.000	0.000
5031	4.784	1.932	0.000	5.865

Los resultados son similares a los obtenidos en las pruebas realizadas con 0,4m³. Se puede concluir que el no realizar la regeneración química antes de la desorción aumentará el contenido de carbonatos de calcio en carbón activado después de ella.

Se observa claramente el aumento de estos carbonatos en carbón después de la desorción, por lo que se podría asumir que se tienen 2 opciones:

- 1) Realizar la regeneración química antes de la desorción midiendo el contenido de carbonatos de calcio en carbón antes del ingreso al tanque para añadir proporcionalmente la cantidad de ácido clorhídrico HCl y controlar su consumo.
- 2) Realizar un estudio de las condiciones de la desorción que influyen en la precipitación de carbonatos de calcio quedando estos adheridos al carbón activado.

La reducción del consumo de HCl se demuestra en la siguiente gráfica:

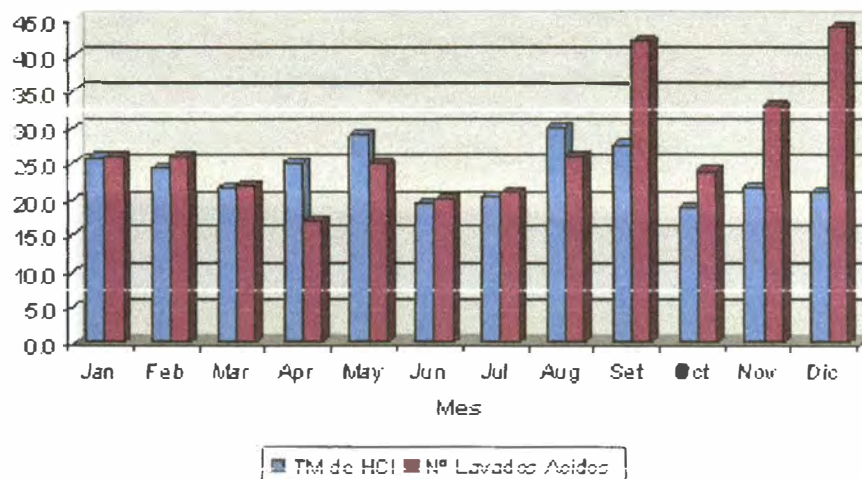


Figura 3.14 Gráfico del Consumo de HCl vs N° de Regeneraciones Químicas utilizadas

Como se puede observar el consumo de HCl se redujo a partir del mes de septiembre (mes de inicio de las pruebas), incluso realizando una mayor cantidad de regeneraciones químicas antes de la desorción.

Cuantitativamente se ha realizado entre los meses de Enero y Agosto 183 veces el proceso de regeneración química, utilizando aproximadamente 196 TM de ácido clorhídrico.

La proyección para los últimos 4 meses era realizar aproximadamente 92 procesos de regeneración química en los que se utilizaría 170 TM de ácido clorhídrico.

El costo del ácido clorhídrico alcanzaba el monto de \$58750.

Sin embargo con el cambio realizado se realizaron 143 procesos de regeneración química en los que se utilizó 89 TM de ácido clorhídrico, el costo del ácido utilizado fue de \$26 700 disminuyendo el costo proyectado en aproximadamente \$32000.

Los resultados no solo fueron buenos para el ámbito económico, se realizó la regeneración química antes de realizarse la desorción en más oportunidades limpiando con una mayor frecuencia el carbón activado del proceso, teniendo así mejores resultados disminuyendo el contenido de oro en la solución barren.

3.5 Comportamiento del Carbonato de Calcio en la Desorción

Las propiedades del carbón activado sobre el oro en soluciones de cianuro son conocidas desde finales del siglo pasado, pero su empleo industrial estuvo restringido durante largo tiempo a la falta de un procedimiento eficiente de desorción o elusión que permita recuperar oro y el carbón desorbido, debiendo recurrirse en el pasado a la calcinación.

Esta desventaja, junto a los avances técnicos alcanzados por la precipitación con zinc, hizo, disminuir el interés por el uso del carbón activado. La situación, sin embargo, empezó a cambiar a partir de 1950 con el desarrollo de un método por parte de la U. S. Bureau *of* Mines que permitió la reutilización del carbón. Desde entonces se han desarrollado y propuesto *diferentes métodos de desorción* hasta la actualidad en la que la tecnología del carbón activado se ha convertido en una alternativa a la técnica del proceso Merrill Crowe en la recuperación de valores metálicos de oro y plata a partir de soluciones cianuradas.

3.5.1 Variables importantes en la Desorción

La extracción del oro y plata adsorbidos del carbón activado cargado es análoga a la lixiviación tanto del oro como la plata a partir de sus minerales. En el circuito de desorción (stripp), las condiciones son más agresivas, la fuerza de las soluciones son mayores y las temperaturas son más elevadas con la finalidad de acelerar el proceso de desorción.

3.5.1.1 Temperatura

El parámetro más importante que gobierna la desorción (elusión) del oro a partir del carbón activado, lo constituye la temperatura. Todos los procedimientos de desorción son llevados a cabo a temperaturas cercanas al punto de ebullición o preferentemente a mayores temperaturas en reactores presurizados. También afectan la elusión el tipo de carbón, su carga de oro y en particular el tiempo de uso y el tipo de circuito en el cual se carga.

3.5.1.2 Competencia de Iones

La eliminación de especies iónicas de la solución es realizada usando agua desionizada en el procedimiento de desorción, una pobre calidad del agua reduce significativamente la eficiencia de la elusión por la presencia de otras especies, incluyendo iones de metales base (Cu, Fe etc.) y calcio en el eluante. Si el nivel de estas especies competentes se permite que se incrementen, la eficiencia de la elusión decae. La presencia de una gran variedad de especies competentes (clase y nivel) explica los tiempos de elusión requeridos en varias operaciones (20 - 80 h). Los niveles son controlados por el sangrado de la solución eluante barren del circuito y su *reemplazo por agua*

En cuanto al comportamiento de elementos, el cobre y la plata son elementos que se desorben más fácilmente que el oro y por lo tanto pasan a electro obtención. La plata es depositada electrolíticamente, mientras que la deposición del cobre depende de las condiciones de operación.

Con respecto a otros elementos, estos son removidos durante las etapas de regeneración química y reactivación térmica, a la cual se somete el carbón activado.

3.5.1.3 Solventes Orgánicos

El equilibrio de distribución del oro entre el carbón activado y la solución cianurada, es mucho más favorable hacia la solución (desorción de oro) con la presencia de solventes orgánicos. El equilibrio del coeficiente de distribución K_p (K_p = es la relación entre el contenido de oro en el carbón activado y el contenido de oro en solución) entre el carbón y la solución cianurada acuosa a 98 °C es aproximadamente 10 (Por ejemplo la carga de oro en el carbón es 10 veces que la solución en contacto) mientras que K_p es reducido a 0,5 - 1,0 con la adición de 40% v/v de acetónitrilo a la solución. Solventes tales como etanol, metanol y etilenglicol tienen similar efectos benéficos en el equilibrio de la elusión.

3.5.2 Parámetros utilizados en la Desorción

El carbón activado que es cargado con oro puede ser quemado para recuperar el oro, pero es preferiblemente separado, reactivado y retornado al circuito de carga.

La remoción de oro del carbón activado se realiza con una solución cáustica caliente presurizada que remueva los complejos de cianuro de oro de un carbón cargado en un recipiente a presiones altas.

Después del proceso de desorción el carbón es reactivado y reciclado a las columnas de carbón.

La etapa de desorción de oro y plata es dependiente de la concentración del álcali (NaOH) y la temperatura de la solución de re-extracción.

Tiene como objetivos:

- ✓ Recuperar la mayor cantidad de valores metálicos cargados a partir de la solución desorbida en un volumen tan pequeño como sea posible.
- ✓ Producir una solución impregnada con el tenor más alto posible de metales preciosos.
- ✓ Dejar la menor cantidad de oro y plata posible en el carbón después de la desorción.
- ✓ Dejar el carbón listo para retornar al sistema de adsorción

Como se menciona anteriormente la regeneración química se realiza de la siguiente manera:

- ✓ Primero se preparan los reactivos a utilizar, Cianuro de Sodio y Soda Caústica. Para esta preparación existen Procedimientos Seguros de Trabajo e Instrucciones de Operación.
- ✓ Se llena el Tanque de la solución Presoak con 1.5 m³ de soda cáustica y 1m³ de cianuro de sodio, luego se completa el tanque, hasta un 90% de su nivel con agua.
- ✓ Se enciende el agitador del tanque para mezclar y acondicionar las soluciones de soda y cianuro.
- ✓ Se llena el Tanque de desorción (Strip) con carbón cargado (aproximadamente entre 8,0 a 9,0 toneladas) que provienen del tanque de lavado ácido.
- ✓ Se mide el nivel de carbón por la tapa superior del tanque. Después de la medida esta tapada debe ser cerrada.
- ✓ Se hace el llenado del tanque de combustible para dar funcionamiento a los calentadores.
- ✓ Se inicia la secuencia operacional o automática del strip.

- ✓ Por último se realiza la descarga de carbón hacia el tanque de carbón separado.

3.5.3 Aumento del contenido de carbonato de calcio durante la Desorción

Como se ha observado en las pruebas hechas para la reducción del consumo de HCl, se realice o no la regeneración química antes de la desorción al término de ésta los carbonatos de calcio en el carbón activado aumentan, la diferencia es que el aumento cuando se realiza la regeneración química es menor que cuando no se realiza.

Por este motivo se realizó un estudio del contenido de carbonatos de calcio en las soluciones que se utilizan en la desorción midiendo este contenido para cada una de ellas. Los resultados son mostrados en la tabla 3.13.

Tabla 3.13: Contenido de Carbonato de Calcio en Soluciones de Desorción

Solución	ppm CaCO ₃
Presoak Inicial	11790
Presoak Promedio	4043
Solución Intermedia	0
Agua Tratada AWTP	200

La solución Presoak contiene soda cáustica y cianuro de sodio, estos componentes hacen que la alcalinidad sea elevada estamos hablando de aproximadamente un pH = 13, por ello es que la lectura de carbonatos de calcio es altísima, esta lectura nos mide los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos de sodio expresada en carbonatos.

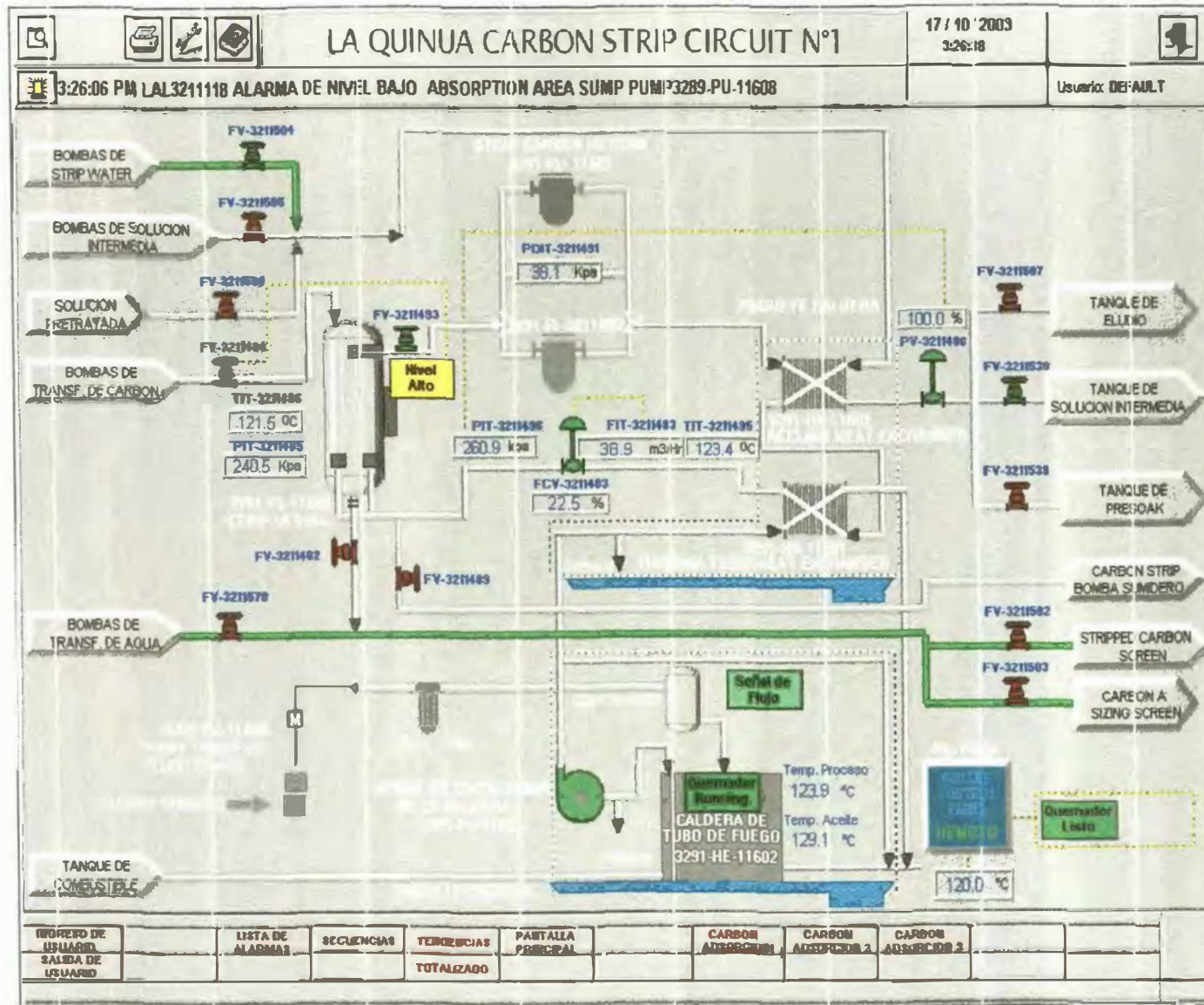


Figura 3.15 Esquema del Proceso de Desorción

Dentro de la literatura respecto a carbonatos de calcio, nos dice que estos precipitan a alta presiones, altas temperaturas y alta alcalinidad.

La desorción se realiza a altas presiones, alta temperaturas y alta alcalinidad porque estas son las condiciones necesarias para que el oro contenido en el carbón activado se disuelva en cianuro y sea removido del carbón activado para su posterior refinamiento.

Por este motivo las condiciones en las que se realiza la desorción no pueden variar porque su objetivo principal es remover el oro contenido en el carbón activado. Por lo tanto siempre se tendrá un aumento de carbonatos por las condiciones en las que se realiza la desorción.

En el tanque de desorción se utiliza un anti-incrustante para prevenir la precipitación de los carbonatos de calcio pero como hemos demostrado mediante las medidas de contenido de carbonatos de calcio en carbón activado después de la desorción este anti-incrustante no es suficiente.

Se tenía que estudiar alguna manera de disminuir la precipitación de estos carbonatos de calcio en el carbón activado descargado ya que como se dijo anteriormente estos regresan al circuito ingresando a la última columna de cada serie y entran en contacto con la solución rica, si el carbón tiene un alto contenido de carbonatos de calcio será menor la adsorción de oro en sus intersticios, los cuales se describen en el ítem 3.5.4.

3.5.4 Propuestas para la eliminación de Carbonato de Calcio en Carbón Activado antes del ingreso a las columnas de adsorción

Después del estudio realizado y los resultados de las mediciones obtenidas se recomienda realizar la regeneración química del carbón activado luego de la desorción para asegurar un contenido de carbonatos de calcio en carbón activado mínimo, recuperando con mayor eficiencia el oro contenido en la solución rica y disminuyendo por lo tanto el contenido del mismo en la solución barren.

Se presentan dos propuestas para realizar la regeneración química después de la desorción:

- Regeneración Química del Carbón Activado antes y después de la Desorción
- Regeneración Química del Carbón Activado después de la desorción

3.5.4.1 Regeneración Química del Carbón Activado antes y después de la desorción

Al realizar dos regeneraciones químicas una antes de la desorción y otra después de la desorción incrementaría los costos del proceso por lo que se analizó y calculo el incremento de los costos.

a) Costo por Regeneración Química realizada:

El costo de la energía eléctrica utilizada en los equipos que intervienen en este proceso, son mostrados en la tabla 3.14.

Para calcular el costo de la regeneración química se ha tenido en cuenta el costo del personal, la energía y el costo del HCl, el cual se muestra en la tabla 3.15.

Tabla 3.14: Costo de la Energía por Regeneración Química

Nombre	Código	Horas Trabajadas	Potencia KW	KW-h	Costo de Energía (\$)
Bomba de Transferencia de Carbón (CC-LA)	PU-11601	0,33	15,00	5,00	0,35
Bomba de Dosificación de HCl	PU-11619	0,08	2,20	0,18	0,01
Bomba de Agua	PU-11677	2,00	37,00	74,00	5,18
Bomba de Transferencia de Carbón (LA-Stripp)	PU-11613	0,75	11,00	8,25	0,58
Total					6.12

Tabla 3.15: Costo Total de la Regeneración Química

Consumo de	Costos		Cantidad Utilizada		Costo Total \$
HCl	0,30	\$/Kg	600	kg	180,00
Energía	6,12	\$/LA	1	LA	6,12
Personal	57,78	\$/dia	1	dia	57,78
TOTAL					243,90

b) Costo por cada desorción realizada:

Siguen los mismos pasos utilizados para hallar el costo de la regeneración química, la tabla 3.16 muestra el costo total de desorción.

El costo del proceso de regeneración química representa el 17% del costo total del costo de la desorción. Entonces, al realizar dos regeneraciones químicas, una antes y otra después de la desorción, aumentaría el presupuesto de \$5 000 mensuales.

Tabla 3.16: Costo Total de Desorción

Consumo de	Costos		Cantidad Utilizada		Costo Total \$
NaOH	0,81	\$/Kg.	216	Kg.	175,18
NaCN	1,93	\$/Kg.	150	Kg.	289,50
Diesel	3,27	\$/GAL	255,3	GAL	834,78
Energía	36,77	\$/Stripp	1	Stripp	36,77
Personal	57,78	\$/día	1	día	57,78
TOTAL					1394,01

Si el carbón activado después de desorción contiene un valor alto de carbonatos de calcio, la adsorción del oro disminuye, como ha sido comprobado en las pruebas de laboratorio realizadas, el aumento de 0,01 g Au/L en la solución Barren tiene como resultado la pérdida de ventas equivalentes a \$50 200 día lo que justificaría la inversión de \$5 000 mensuales por el aumento de realizar una regeneración química adicional después de la desorción.

3.5.4.2 Regeneración Química del Carbón Activado después de la desorción

Para esta propuesta se analizó la influencia de la regeneración química en la desorción.

Se calcula la eficiencia de la desorción, teniendo como datos el contenido de oro en carbón antes de la desorción (Carbón Cargado) y el contenido de oro en carbón después de la desorción (Carbón descargado). El cálculo de la

eficiencia de desorción (ED) se realiza aplicando la siguiente relación:

$$ED = \frac{Au_{\text{Carbón Cargado}} - Au_{\text{Carbón Descargado}}}{Au_{\text{Carbón Cargado}}} \times 100$$

La eficiencia de la desorción se comparó con el contenido de carbonato en carbón activado antes de realizarse la desorción y se obtuvo gráfica de la figura 3.16.

En la grafica de la figura 3.16 se pueden observar dos escalas. la escala de la izquierda del 95% al 100% que representa el porcentaje de la eficiencia de la desorción; y la escala de la derecha del 0 al 35 que representa el contenido de carbonato de calcio en carbón activado en Kg. $\text{CaCO}_3/\text{TM Carbón}$ antes de realizarse la desorción.

La gran variación de contenido de carbonato de calcio en carbón antes de realizar la desorción es grande, debido a que no siempre se realiza la regeneración química antes de la desorción; por lo que, los valores altos corresponden a aquellas ocasiones en las que no se realizó la regeneración química antes de la desorción.

Se puede observar que no existe ninguna relación entre la variación de la eficiencia de la desorción y la variación del contenido de carbonatos de calcio en carbón cargado ya que hay valores en los que la eficiencia es alta no habiéndose realizado la regeneración química antes de la desorción y valores en las que la eficiencia disminuye tomando unos de los valores más bajos teniendo un valor de cero carbonato

de calcio en carbón cargado, es decir; habiéndose realizado la regeneración química antes de proceder con la desorción.

En algunos textos se menciona que no es tan importante la eficiencia de la desorción si no el contenido de oro en el carbón después de realizarse la desorción.

En la gráfica de la figura 3.17 se realiza la comparación de haber realizado la regeneración química con el contenido de oro en carbón después de la desorción.

En la grafica de la figura 3.17 las barras de color guinda representa la regeneración química en el proceso, cuando aparece al lado del contenido de oro en carbón descargado (barra lila) indica que se realizó la regeneración química antes de la desorción y cuando no aparece es porque no se realizó dicha operación

Se debe tener en cuenta que el objetivo es obtener el menor contenido de oro en carbón activado después de la desorción.

En este sentido, se puede observar que los mayores valores de oro en carbón descargado se obtuvieron habiéndose realizado la regeneración química antes, esto no quiere decir que realizar la regeneración química antes de la desorción aumenta el contenido de oro en carbón descargado ya que al menor valor obtenido en esta muestra también se realizó una regeneración química antes de la desorción, por lo tanto, se puede asegurar que no existe ninguna relación entre el contenido del oro en carbón descargado y el realizarse la regeneración química antes de la desorción.

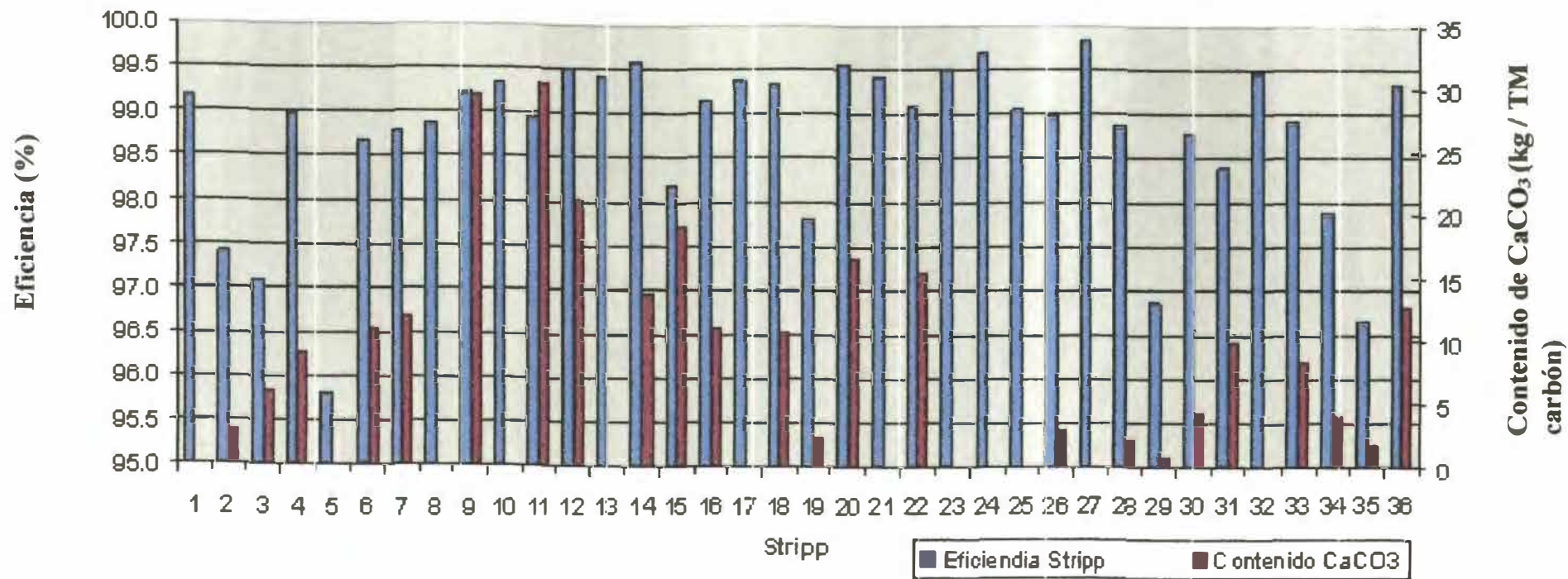


Figura 3.16 Influencia del contenido de carbonatos en carbón cargado en la desorción.

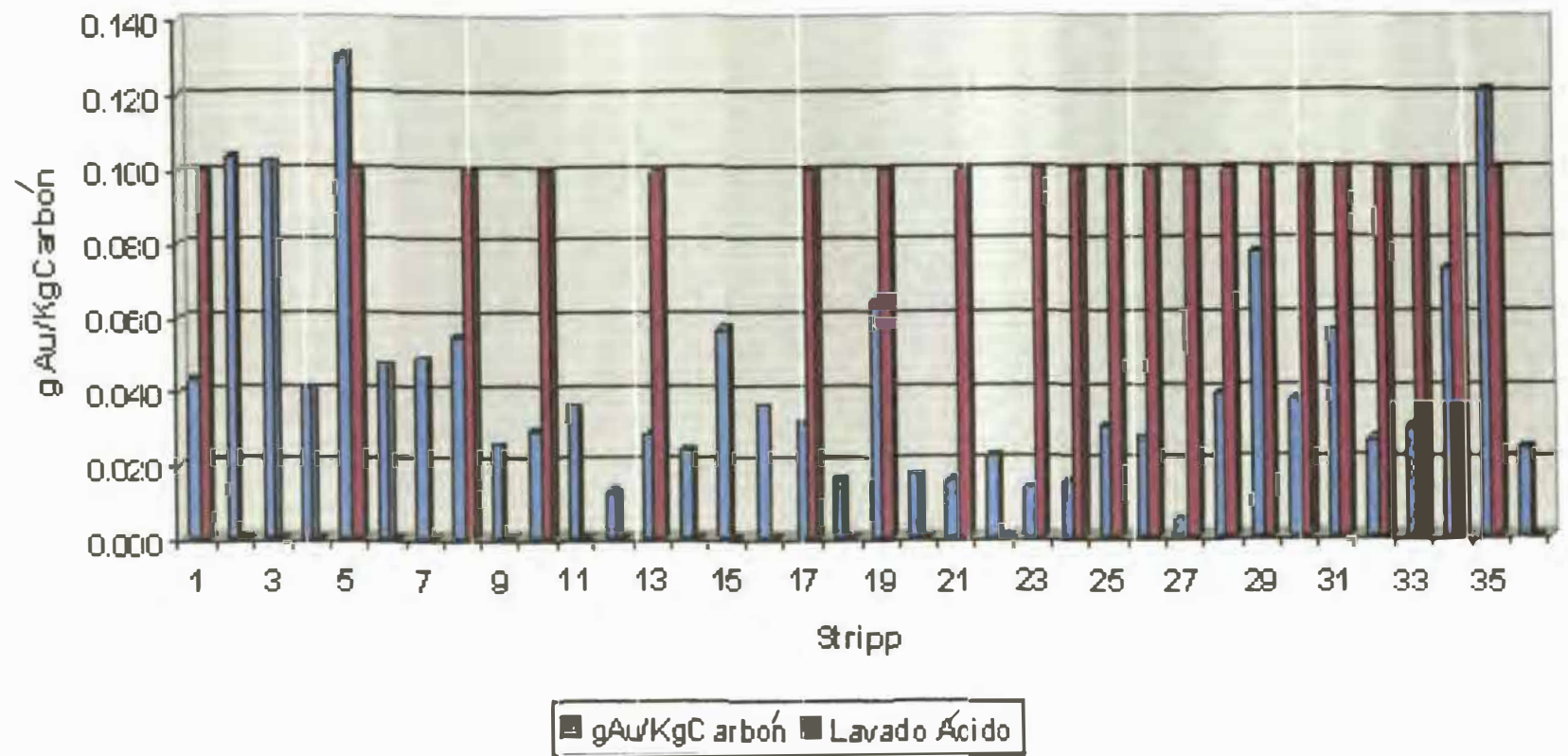


Figura 3.17 Comparación entre la regeneración química y el contenido de carbonatos en carbón descargado.

Se concluye que realizar la regeneración química antes de la desorción no influye en los resultados que se obtienen en la desorción, sea eficiencia de la desorción o contenido de oro en carbón descargado.

Por lo que, se sugiere realizar la regeneración química después de la desorción.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El resultado de las pruebas de laboratorio realizadas y los cálculos en planta muestran que el contenido de carbonato de calcio en carbón activado disminuye la capacidad de carga del carbón debido a que los iones Ca^{+2} se incrustan en las intersecciones del carbón activado disminuyendo la adsorción del oro
- El contenido de carbonatos de calcio en las soluciones del proceso son en promedio 280 ppm de CaCO_3 un valor alto debido a que se añade en el proceso cal para mantener el pH mayor a 10.
- El contenido de carbonato de calcio en la primera columna de adsorción es mayor comparado a las siguientes dentro de cada sistema porque esta tiene más tiempo de contacto con la solución que proviene de la poza de operaciones.
- En la mayoría de los resultados de las muestras tomadas después de la regeneración química utilizando los parámetros propuestos reduce el contenido de carbonato de calcio a cero, inclusive cuando el contenido de carbonatos antes de ingresar al sistema de regeneración química es alto (5 Kg. CaCO_3 / TM Carbón), por lo tanto se puede concluir que utilizando 0.4 m^3 de HCl y un tiempo de reposo de 30 min en la regeneración química se obtienen mejores resultados y además se reduce el uso de HCl en el proceso.
- Con las pruebas realizadas a nivel laboratorio y los resultados obtenidos en el muestreo a nivel industrial se puede concluir que el agua tratada de AWTP no perjudica el proceso de Regeneración Química ya que no se detecta analíticamente el contenido de carbonatos en carbón activado después de la Regeneración Química utilizando este tipo de agua, en donde se ha observado que perjudica es el proceso de Desorción ya que aumenta el contenido de carbonatos de calcio en carbón activado.

- La temperatura, presión alta y alcalinidad de la desorción influyen en la incrustación de carbonatos de calcio en carbón activado incrementando dicho contenido, por ello al finalizar la desorción, se tiene un alto contenido de carbonatos de calcio en carbón activado aún cuando el contenido de carbonatos en carbón activado antes de ingresar al sistema de desorción haya sido cero. El carbonato de calcio entra al sistema de desorción en las soluciones Presoak e Intermedia las cuales son preparadas con agua tratada de AWTP.
- Si no se realiza la regeneración química antes de la desorción aumenta el contenido de carbonatos de calcio en carbón activado el cual entra en contacto con la solución rica en las columnas de carbón, a la vez se ha analizado la eficiencia de carga del carbón activado después de la desorción y se puede concluir que el contenido de carbonatos de calcio en carbón al ingreso de la desorción no influye en esta, por lo que se sugiere que se realice la regeneración química después de la desorción sin excepción, el carbón activado ingresara con un mínimo contenido de carbonatos de calcio a las columnas de carbón aumentando la capacidad de carga.
- Se sugiere seguir disminuyendo la dosificación de HCl en la regeneración química, teniendo en cuenta la cantidad de contenido de carbonato de calcio que tiene el carbón a tratar (este puede ser medido como promedio semanal o mensual de las columnas de carbón). Se sugiere utilizar como volumen de HCl el doble del estequiométrico y el tiempo de contacto 30 minutos.

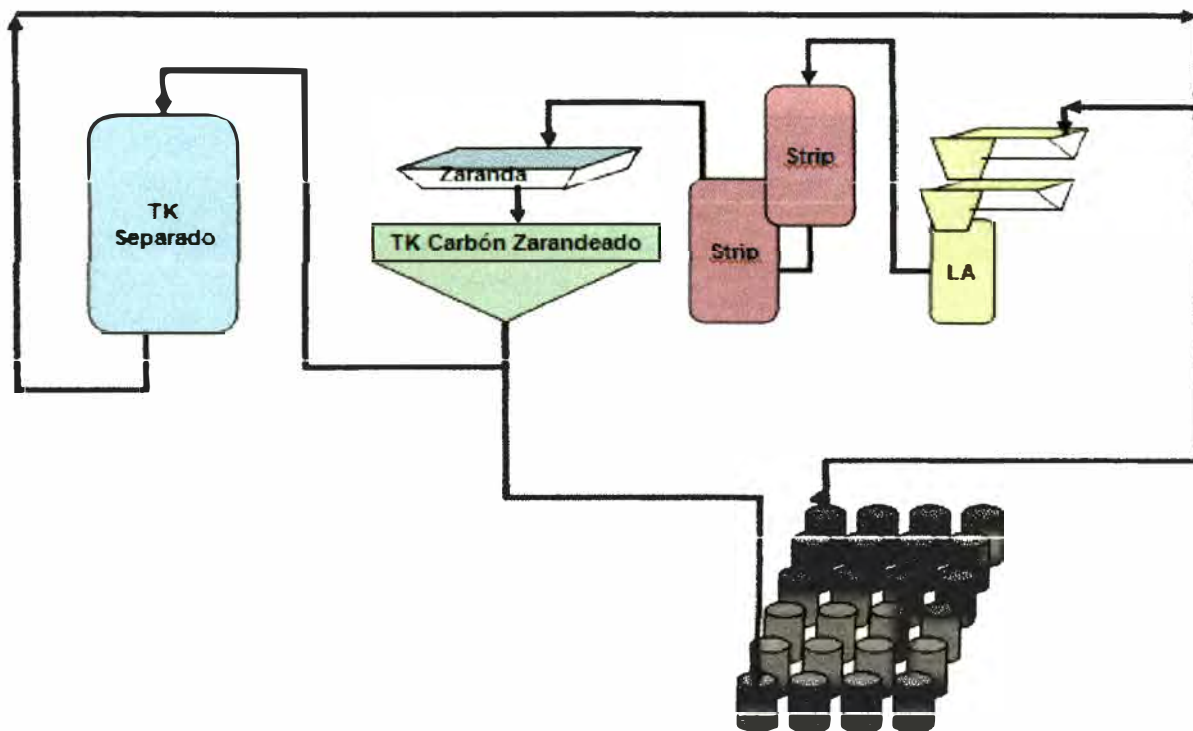
V. BIBLIOGRAFÍA

1. Adamson, R.J. The chemistry of the extraction of gold from. Its ores, Ch. In gold metallurgy in South Africa. Cape and Transvaal printers Ltd. Cap. two, south Africa, 1972.
2. Azañero Ortiz, Ángel. Informe técnico 951, LMC Banco Minero del Perú, 1987.
3. BHAPPU R.B. and Lewis F.M. Gold extraction from low grade ores. Economics evaluation of processes mining congress journal, January, 1975.
4. Bureau of mines, processing gold ores using heap leach – carbon adsorption, 1978.
5. Chamberlin P.D. Heap leaching and pilot testing of gold and silver ores mining congress journal, April 1981.
6. Clem, B M Heap leaching gold and silver ores En: Revista E&MI p 69-75 , Abril 1992.
7. E.H. Hamilton. Manual of cyanadation, Cap. IX y X, 1920.
8. H J Heinen G F Mc Lelland and R E Linds-tron enhancing percolation rate in leaching of gold – silver ores. Bureau Mines, Report 8388, 1975.
9. Manrique Martinez, José Antonio, Manejo de Pilas de Lixiviación de Oro en Minería Yanacocha S.R.L, Informe Profesional, 2005.
10. Marsden, John and Ian House. The chemistry of gold extraction. First published by, Ellis Horwood limited. Printed in Great Britain by Harnolls Bodmin C. Cap. 6, pp. 209-292, 1993.
11. Minera Yanacocha, Introducción al proceso de recuperación de oro mediante carbón activado, 2008.
12. Minera Yanacocha, Manual de Operación “Plantas Columnas de Carbón” – La Quinua, Junio 2006.

13. Merello P. Richard. “Cianuración en pila de minerales de oro y plata, una nueva herramienta para la pequeña minería”. En: Revista Minerales, Vol. N°38, p.164.
14. Quiston F.W. and R.S. Shade maker gold and silver cyanadation plant practice, Vol.1 y Vol.2.
15. <http://cabierta.uchile.cl/revista/8/cineticosI.html>
16. <http://www.importexporte.com/metalurgiaperu/index.html>
17. <http://www.textoscientificos.com/mineria/lixiviacion-oro/precipitacion-carbon-activado>
18. <http://www.unap.cl/cim3/PDF/34.pdf>

VI. APÉNDICE

El circuito sugerido para realizar la regeneración química después de la desorción a Nivel Planta es el siguiente:



El carbón cargado de las primeras columnas se transfiere a los tanques de regeneración química, sin realizarse el proceso de regeneración química el carbón se transfiere al tanque de Desorción. Se realiza la desorción con los parámetros utilizados y el carbón descargado, que sería ingresado a una de las columnas de adsorción, es transferido al Tanque de Separado de la Planta 1, de este tanque se envía el carbón nuevamente al tanque de Regeneración Química, los parámetros operacionales propuestos son:

Cantidad de HCl	0.4 m ³
Tiempo de Reposo	45 min.
Agua de enjuague	75 m ³ .

Al realizar las pruebas en Planta los resultados obtenidos fueron:

	Carbón Cargado	Carbón Descargado	Carbón Descargado Después LA
Lote	KgCaCO₃/TM Carbon	KgCaCO₃/TM Carbon	KgCaCO₃/TM Carbon
Prueba 1	3.3	5.0	0.0
5153	4.0	8.1	1.7
5168	3.4	9.4	0.0
5169	5.4	8.5	0.0
5170	4.0	9.2	0.0
5172	1.8	2.8	0.0
5174	2.1	6.9	0.0

Este carbón con bajo contenido de carbonato de calcio regresa al circuito colocándose en la última columna de los trens, con mayor capacidad de adsorción. Esto se comprueba en la disminución de contenido de oro en el barren.