

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL



**“RECUPERACIÓN DE ORO A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DEL
CARBÓN FINO GENERADO POR LA PLANTA DE CARBÓN
ACTIVADO DE MINERA YANACOCCHA”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

**ALFONSO ARTURO VILLAR MÁRQUEZ
LEONARDO ROBERTO PALIZA RAVAZZANI**

LIMA- PERÚ

2006

ÍNDICE

RESUMEN

I. FUNDAMENTO TEÓRICO	1
1.1 ADSORCION	2
1.1.1 CARBON EN COLUMNAS	2
1.1.2 CARACTERISTICAS DEL CARBON ACTIVADO	3
1.1.3 VARIABLES DEL PROCESO DE ADSORCION	4
1.2 DESORCION	7
1.2.1 VARIABLES DEL PROCESO DE ADSORCION	8
1.3 REGENERACION DEL CARBON	12
1.3.1 REGENERACION TERMICA	13
1.3.2 REGENERACION QUÍMICA	14
II. OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE COLUMNAS DE CARBON DE MINERA YANACocha SRL	17
2.1 AREA DE ADSORCION	18
2.1.1 SISTEMA DE TRANSFERENCIA	19
2.1.2 SISTEMA DE CAPTURA DE FINOS	21
2.1.3 PARAMETROS DE OPERACIÓN	22
2.2 AREA DE DESORCION	23
2.2.1 ADICION DE SODA CAUSTICA Y CIANURO	24
2.2.2 PROCESO DE ELUCION	24
2.2.3 PARAMETROS DE OPERACIÓN	27
2.2.4 BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA	28
2.3 AREA DE REGENERACIÓN	29

2.3.1	REGENERACIÓN QUÍMICA	29
2.3.2	REGENERACIÓN TÉRMICA	31
2.3.2.1	BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	34
2.4	BALANCE DE CARBON EN PLANTA	35
2.5	FUENTES DE GENERACIÓN DE CARBÓN FINO	37

III. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO EN PLANTA DEL METODO

	PROPUESTO	41
3.1	METODOLOGIA DE LA PRUEBA	41
3.1.1	CAPACIDAD ACTUAL DE LAS PLANTAS DE DESORCIÓN	41
3.2	GRANULOMETRIA Y COMPOSICIÓN DEL CARBÓN FINO	42
3.3	ACONDICIONAMIENTO DE PLANTA	43
3.4	PRUEBAS A NIVEL INDUSTRIAL	46
3.4.1	VARIABLES DEL PROCESO	46
3.4.2	PROBLEMAS OPERATIVOS	46
3.5	RESULTADOS OBTENIDOS	47
3.5.1	PRUEBAS PRELIMINARES	47
3.5.2	PRUEBAS CARBÓN FINO ALMACENADO DURANTE DOS AÑOS Y CON ADICIÓN DE 2 m ³ DE CIANURO	48
3.5.3	PRUEBAS CARBÓN FINO ALMACENADO DURANTE DOS AÑOS Y CON ADICIÓN DE 4 m ³ DE CIANURO	49
3.6	DISCUSION DE RESULTADOS	50
3.7	CÁLCULOS DE INGENIERÍA EN EL DISEÑO DEL PROCESO DE DESORCIÓN DEL CARBÓN FINO	52
3.7.1	DEFINICIÓN DEL VALOR DE TEMPERATURA	52
3.7.2	CINÉTICA DE DESORCIÓN DEL CARBÓN FINO A 130 °C	53
3.7.3	DEFINICIÓN DE LA CANTIDAD DE CARBÓN FINO	

	POR LOTE DE DESORCIÓN	55
3.7.4	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LA COLUMNA DE DESORCIÓN	57
3.7.5	DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	59
3.7.6	DISEÑO DE LOS EQUIPOS AUXILIARES	69
IV.	METODOS ALTERNATIVOS DE TRATAMIENTO	73
4.1	LIXIVIACION O FUSIÓN DE CALCINAS	73
4.1.1	RETORTEO	73
4.1.2	CALCINACIÓN	74
4.1.3	LIXIVIACIÓN O FUSIÓN	74
4.2	TRANSFERENCIA DE ORO DEL CARBÓN FINO	76
4.3	VENTA A TERCEROS	77
V.	ANÁLISIS ECONOMICO DEL METODO PROPUESTO	78
5.1	ASUNCIONES GENERALES	78
5.1.1	PRECIO INTERNACIONAL DEL ORO	78
5.1.2	TONELAJE DE CARBÓN FINO A GENERAR	80
5.1.3	LEY DE CARBÓN FINO A GENERAR	81
5.1.4	COSTOS UNITARIOS	82
5.2	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO PRESENTADO	83
5.3	RETORTEO DEL CARBÓN FINO	90
5.4	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD - PRECIO DEL ORO	97
5.5	TABLA RESUMEN	98
5.6	EVALUACIÓN ECONÓMICA SIN CONSIDERAR INVENTARIOS	99

VI. IMPLEMENTACION A NIVEL INDUSTRIAL DEL MÉTODO PROPUESTO	107
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
7.1 CONCLUSIONES	110
7.2 RECOMENDACIONES	111
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
IX. ANEXOS	115
9.1 REPORTE DE PRUEBAS PRELIMINARES DE DESORCIÓN DE CARBÓN FINO	116
9.2 REPORTE DE ACTUALIZACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS POR EL TRATAMIENTO DEL CARBÓN FINO	123
9.3 HOJA DE CONTROL DE LOTE DE DESORCIÓN CON ADICIÓN DE 2 m ³ DE CIANURO DE SODIO	127
9.4 HOJA DE CONTROL DE LOTE DE DESORCIÓN CON ADICIÓN DE 4 m ³ DE CIANURO DE SODIO	128
9.5 CONSIDERACIONES TERMODINAMICAS PARA EL BALANCE DE ENERGÍA DE LAS ETAPAS DE DESORCIÓN, REGENERACIÓN TÉRMICA Y DESORCIÓN DE CARBÓN FINO	129
9.6 DATOS DE DISEÑO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DE LA PLANTA DE COLUMNAS DE CARBÓN ACTIVADO	132

RESUMEN

La planta de Columnas de Carbón Activado de Yanacocha Norte de Minera Yanacocha SRL, opera mediante un sistema en cascada a contracorriente en el área de adsorción; la etapa de desorción se lleva a presión y alta temperatura. Los circuitos de adsorción son complementados con áreas de regeneración química y regeneración térmica.

La generación de carbón fino (como producto de la fragmentación del carbón normal usado en la operación) es asociada a las transferencias, condiciones agresivas de operación y envejecimiento del carbón. Los valiosos de este carbón fino normalmente son recuperados mediante operaciones pirometalúrgicas.

La presente tesis demuestra que mediante un adecuado acondicionamiento de la planta de columnas de carbón de Minera Yanacocha SRL, complementado con una correcta adición de reactivos en la etapa de desorción, es posible la recuperación de más del 95% de valiosos del carbón fino generado en la planta de Columnas de Carbón de Minera Yanacocha SRL sin tener ninguna interferencia en la operación normal de la planta.

CAPÍTULO I

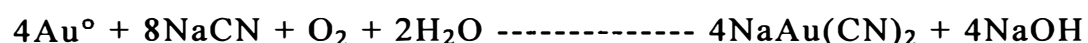
FUNDAMENTO TEÓRICO

La extracción de oro en la actualidad es un proceso altamente exitoso y surge cuando se empezó a utilizar el cianuro para la disolución del oro contenido en el mineral. Este método fue descubierto por Macarthur en el año 1880.

TECNOLOGÍA DE LA LIXIVIACIÓN CON CIANURO

Los procesos de disolución de oro y plata han sido conocidos durante siglos, es el caso del uso de agua regia (mezcla de ácido clorhídrico y nítrico 3:1) cuyo uso se remonta a la edad media. Sin embargo, sólo con el descubrimiento de la acción disolvente de las soluciones de cianuración en medio alcalino sobre el oro metálico, se encuentra un método aplicable a operaciones industriales que permite una alternativa diferente al proceso de recuperación de oro. Esta propiedad fue conocida, desde 1783, por el científico sueco Carl Wilhelm Scheele y mencionadas en sus publicaciones, varios otros científicos estudiaron las reacciones involucradas.

Fue Elsner quien primero estableció la necesidad de oxígeno para que el cianuro disuelva el oro planteando la reacción global:



Sin embargo, su aplicación al tratamiento de minerales fue propuesta por el químico-metalurgista John Stewart MacArthur; los doctores Robert y William Forrest solicitan una patente de invención por el “Proceso de Obtención de Oro y Plata desde sus Minerales” que le fue concebida el 19 de Octubre de 1887.

Pasaron 10 años para que el uso del cianuro se aplicara en la minería especialmente en las minas de Rand ubicadas en Sudáfrica y Coolgardie en Australia. Esto se hizo posible por el descubrimiento de métodos para recuperar los valores de oro y plata de las soluciones cianuradas, estos métodos son:

Precipitación Merrill Crowe

Precipitación con sulfuro de sodio

Adsorción con carbón activado

1.1 ADSORCIÓN

La adsorción es un proceso por el cual las moléculas de la fase líquida o gaseosa se adhieren a la superficie del carbón activado, e incluye tanto las superficies geométricas externas como la superficie interna de los capilares, las grietas y los intersticios. La adherencia es gobernada por una atracción electro-química.

1.1.1 CARBÓN EN COLUMNAS (CIC)

El licor lixiviado es generado en la mayoría de las operaciones de heap leaching 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 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 o agitándolos suavemente en tanques. Regularmente se usan una serie de columnas o tanques.

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.

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.

1.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL CARBÓN ACTIVADO

El carbón activado puede ser obtenido de una gran variedad de materias primas, incluyendo cáscaras de nuez, pepas de frutas, madera, carbón bituminoso. El carbón mas empleado en la metalurgia del oro es el fabricado a partir de la cáscara de coco o pepa de melocotón. La granulometría mas común de los carbones comerciales son -6+16, -10+20 malla y existen en forma granular y aquellos fabricados por extrusión, cuyos gránulos de forma cilíndrica la confieren mayor resistencia al desgaste mecánico.

Superficie específica total (m ² /g)	1 150 a 1 250
Tamaño de poros	95% de 10-20 Å
Densidad real (g/cm ³)	De 2,0 a 2,2
Volumen de poro dentro de partícula (cm ³ /g)	De 0,70 a 0,80
Densidad aparente de lecho (g/cm ³)	De 0,45 a 0,48
Calor específico a 100 °C	De 0,20 a 0,25
Tamaño promedio mallas	6 m x 16 m
Cenizas (%)	De 1 a 4

TABLA 1. Propiedades físicas de carbones activados de cáscara de coco

El carbón activado es un material orgánico con una estructura reticular parecida al grafito, teniendo un área superficial extremadamente grande y una estructura porosa altamente desarrollada. Las más importantes propiedades del carbón activado para el uso de extracción de oro son los siguientes:

Capacidad de Adsorción

Velocidad de Adsorción

Fortaleza Mecánica y Resistencia al desgaste

Características de Reactivación

Tamaño de Partículas.

1.1.3 VARIABLES DEL PROCESO DE ADSORCIÓN

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.

1.1.3.1 EFECTO DEL CARBÓN

La mayoría de carbones adsorben el oro en mayor o menor grado, pero en la práctica la mayor parte de carbones activos son producidos específicamente a partir de la cáscara de coco o de la pepa de melocotón a partir 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. El carbón de las aristas perdidas por atrición constituye una porción activa de alta cinética de adsorción. Estas partículas finas atraviesan los sistemas de filtración e incrementan las pérdidas de oro en los circuitos.

Esta eficiencia puede ser restituida mediante tratamiento del carbón

con hornos de reactivación térmica y ciclos de lavado ácido.

1.1.3.2 EFECTO DEL pH

Una disminución en el pH de la solución favorece tanto la cinética de adsorción como la capacidad total de carga de oro en el carbón.

Ya que tanto los iones H^+ como OH^- 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 1.

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

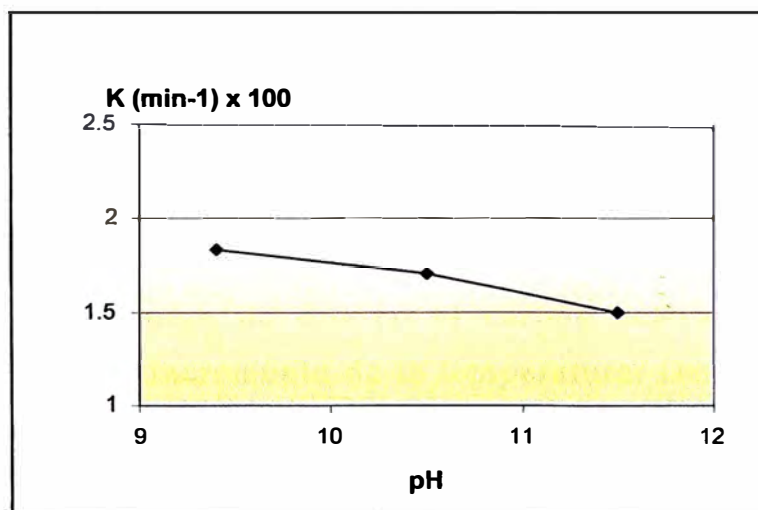
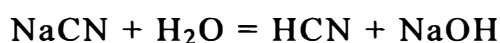


FIGURA 1. Efecto del pH en el equilibrio de carga de oro en el carbón

1.1.3.3 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.

1.1.3.4 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.

1.1.3.5 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 es aumentada.

1.1.3.6 EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

La velocidad de adsorción esta 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).

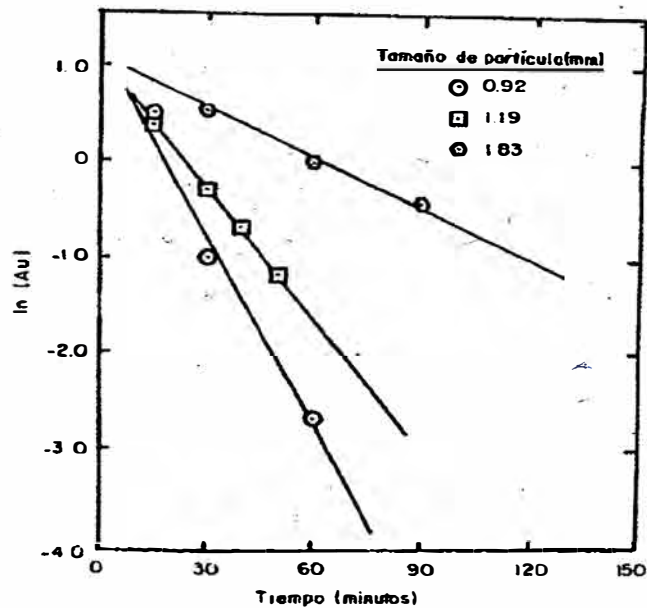


FIGURA 2. Efecto del tamaño de partícula en la velocidad de adsorción de oro

1.1.3.7 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, mercurio, calcio, magnesio, potasio, níquel, y hierro pueden causar una notable reducción en la adsorción de oro por el proceso de adsorción competitiva.

1.2 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 elución que permita recuperar oro y el carbón desorbido, debiendo recurrirse en el pasado a la calcinación.

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.

1.2.1 VARIABLES DEL PROCESO DE DESORCIÓN

Siendo la elución del carbón activado cargado con el complejo de aurocianuro una etapa que revierte las reacciones de la adsorción, también se verá favorecida por los parámetros contrarios al óptimo operacional representado por dicho proceso de carga.

1.2.1.1 TEMPERATURA Y PRESIÓN

La temperatura es el factor más importante para lograr una buena y rápida elución; y la presión es necesaria para alcanzar temperaturas superiores a los 100 °C evitando que el agua se vaporice. El efecto de la temperatura queda gráficamente demostrado en la Figura 3. La velocidad de elución aumenta en un orden de magnitud con el aumento de 10 °C de temperatura. Aunque es posible reducir sustancialmente el tiempo de elución, operando sobre una temperatura superior a los 100 °C.

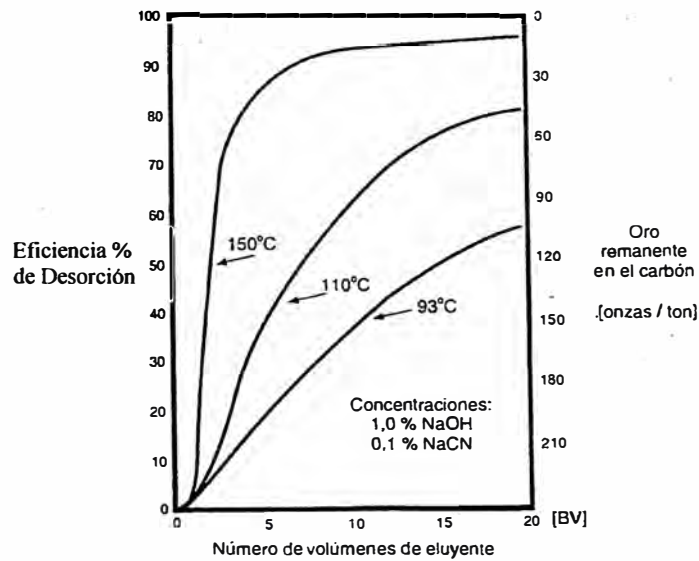


FIGURA 3. Efecto de la temperatura sobre la velocidad de desorción de oro, usando el método Zadra

1.2.1.2 CONCENTRACIÓN DE CIANURO

El incremento de la concentración de cianuro, incrementa la competición de iones cianuro con las especies cianuradas de oro en los sitios de adsorción en el carbón y ayuda en el desplazamiento de las especies aurocianuradas desde el carbón.

Sin embargo, la presencia de cianuro libre a lo largo del proceso de desorción no es requerido para una eficiente desorción (Figura 4), en la línea OH^- .

El grado causticidad del medio eluyente, representado por la concentración de soda cáustica (NaOH) también es importante. El efecto de distintas concentraciones de ambos reactivos sobre la cinética de desorción se puede apreciar gráficamente en la Figura 4.

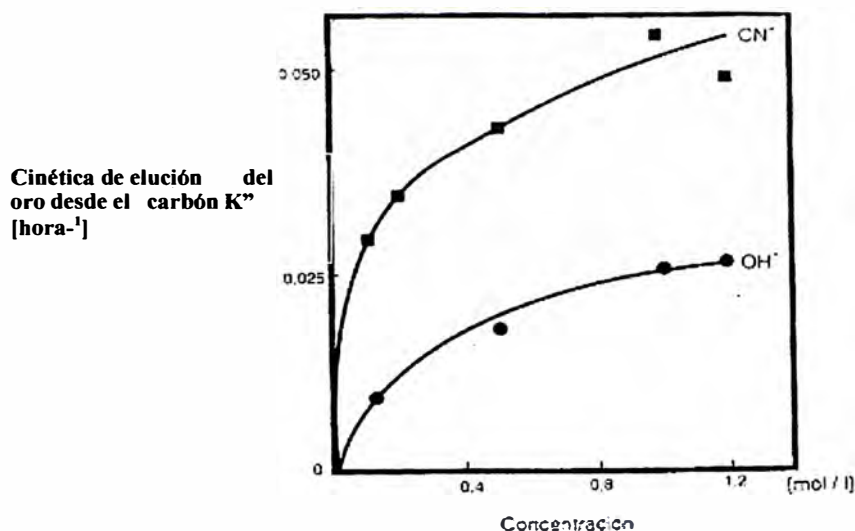


FIGURA 4. Efecto de la concentración de los reactivos eluyentes NaCN y NaOH sobre la cinética de desorción

1.2.1.3 EFECTO DEL pH

Todos los métodos de desorción que se han desarrollado después del de Zadra han cuidado de trabajar con un 1 a 3% de soda cáustica NaOH sea diluido en el eluyente mismo o inyectado antes del inicio del proceso de desorción ("remojo"), con lo cual se han asegurado una alcalinidad protectora (para evitar la hidrólisis del cianuro), es decir, típicamente pH entre 10,5 y 12. A su vez debe recordarse que los iones hidróxido OH⁻ son buenos para desplazar al aurocianuro adsorbido casi tanto como lo es el ión cianuro libre CN⁻ según se apreció en la Figura 4.

1.2.1.4 VELOCIDAD DEL FLUJO ELUYENTE

La velocidad de circulación eluyente a través de un carbón se expresa normalmente en unidades de "Volumen del lecho" (bed Volumen=BV) por hora. La cinética de elución tiende a ser virtualmente independiente de este flujo, cuando se excede 1 BV/h. Sin embargo la carga de oro residual si disminuye con un aumento de flujo después de un tiempo fijo, tal como se aprecia en la Figura

5. Típicamente se recomiendan flujos de 2 a 4 BV/h. para producir un carbón con baja carga residual de oro, mientras todavía se evita tener que procesar un volumen excesivo de eluyente.

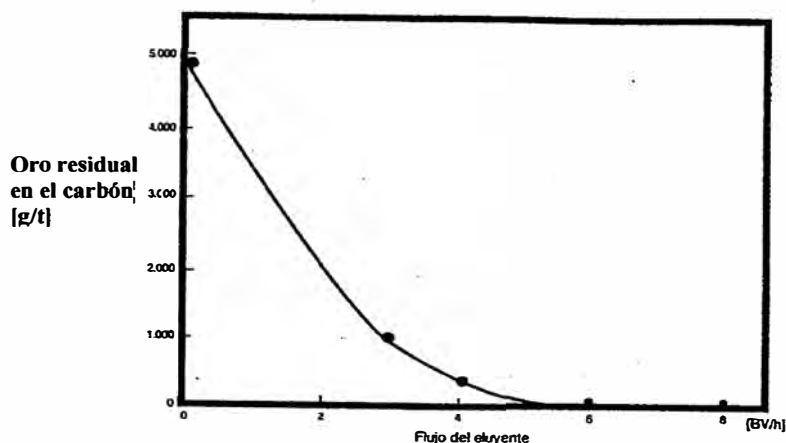


FIGURA 5. Efecto de la velocidad de circulación del flujo de eluyente, expresada en volúmenes de lecho (BV="bed volumes") por hora, sobre la cantidad de oro residual en el carbón

1.2.1.5 CONCENTRACIÓN DE ORO EN LA SOLUCION ELUYENTE

La cinética de elución disminuye y la carga residual de oro en el carbón aumenta con un incremento de concentración de oro en el eluyente, según se observa en la Figura 6. Esto reduce la concentración de oro con el tiempo en un proceso discontinuo (batch) y pasa a ser un factor determinante para imponer una alta eficiencia en la etapa de recuperación del metal que sigue.

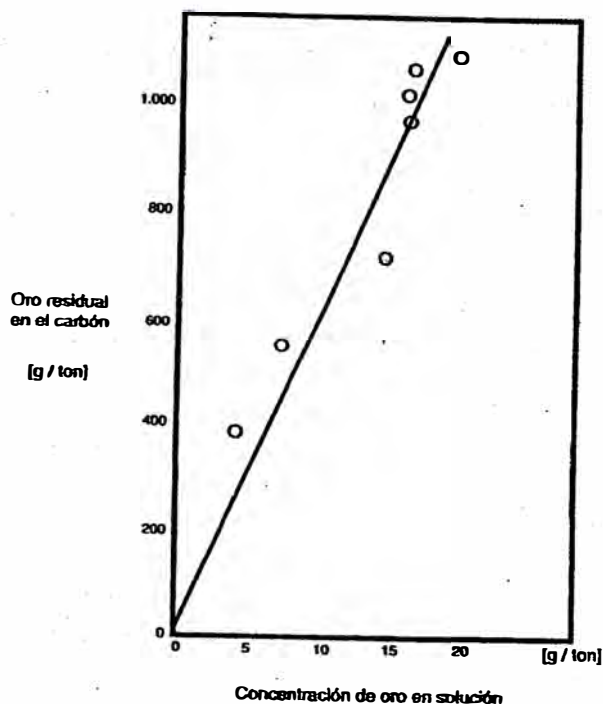


FIGURA 6. Isoterma de distribución del aurocianuro entre el carbón activado (oro residual) y una solución conteniendo 0,2 M NaOH y 0,2 M NaCN a 95°C

1.3 REGENERACIÓN DEL CARBÓN

El carbón 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 eluante. 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.

La contaminación ocurre cuando:

- a) Una indeseada especie orgánica o inorgánica son adsorbidas sobre la superficie del carbón, adsorbiendo sitios activos, que neutraliza la adsorción de oro.
- b) Las sales inorgánicas son precipitadas sobre la superficie del carbón, bloqueando sitios activos.
- c) Partículas sólidas son precipitadas y físicamente atrapadas en los poros del carbón, restringiéndose el acceso de oro localizado en la solución.

La contaminación puede ser contrarrestada mediante:

1. Reduciendo el ensuciamiento durante la adsorción y desorción,
2. Por remoción de las especies contaminantes, seguidamente adsorción ó desorción; y
3. Por remoción del carbón contaminado del circuito y reemplazando con carbón nuevo.

1.3.1 REGENERACIÓN TÉRMICA

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.

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.

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

1.3.1.1 PARÁMETROS DE INFLUENCIA

Los siguientes parámetros tienen influencia importante en la regeneración:

- a) **Atmósfera del horno.** Esta debe ser controlada, no debe haber presencia de aire y lograrse una oxidación con vapor (1 kg de vapor/kg carbón).
- b) **Presencia de compuestos inorgánicos.** Que son los que normalmente están perjudicando la capacidad de adsorción y su remoción es el objetivo de la regeneración térmica.
- c) **Temperatura límites de 650 – 900 °C.** A temperaturas sobre los 950 °C inclusive con cortos tiempos de residencia, se obtiene carbones con excesivas pérdidas de actividad.

1.3.2 REGENERACIÓN QUÍMICA

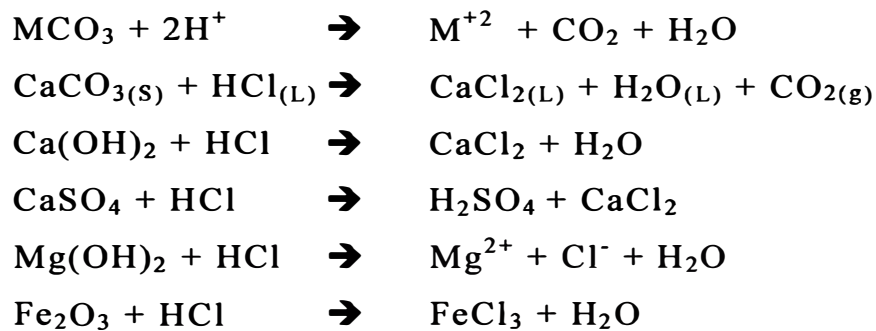
Puede realizarse de las siguientes maneras:

- a) **Lavado simple con agua o lavado con vapor:** Para eliminar las lamas de los poros antes de la elución.
- b) **Lixiviación con ácido diluido (3%) de HCl 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, deberán tomarse las precauciones del caso debido a la formación de ácido cianhídrico (HCN) debido a la presencia de cianuro libre en los poros del carbón. En ciertos casos se prefiere ácido nítrico. Últimamente se han reportados estudios que el sulfato de cobre es efectivo en la regeneración química.

La ecuación general para la disolución de un carbonato con un ácido se da como sigue:



La eficiencia de la remoción de los carbonatos esta fuertemente relacionada con el eficiencia de contacto del ácido y el carbón durante el lavado, de la geometría del tanque de lavado, la velocidad del lavado, la proporción del ácido y carbonatos, el tiempo de residencia son las mas importantes variables para un proceso de optimización.

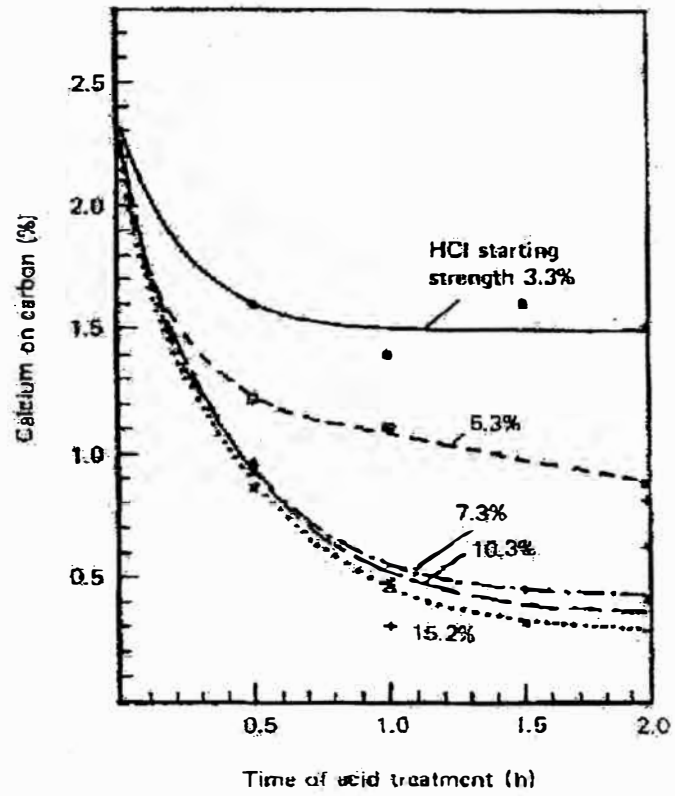


FIGURA 7. Efecto de la concentración del ácido y el tiempo en la remoción de los carbonatos

CAPÍTULO II

OPERACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE COLUMNAS DE CARBON DE MINERA YANACocha SRL

La planta de columnas de carbón activado de Yanacocha Norte inició sus operaciones a mediados del año 2001. La instalación inicial consistió en un sistema de adsorción de columnas distribuidas en tres trenes, con 5 columnas cada tren, es decir 15 columnas conformaban el circuito de adsorción. Además del circuito de adsorción, también se instaló el circuito de desorción #1, regeneración térmica y regeneración química.

A mediados del año 2002 se procede a realizar la expansión de la planta, la cual consistió en la instalación del circuito de desorción #2 y otro circuito de columnas de adsorción (15 columnas) las cuales fueron ubicadas a 5 km aproximadamente de la planta Yanacocha Norte (planta de procesos La Quinoa). Durante este período los circuitos de desorción trataban tanto el carbón de Yanacocha Norte como el proveniente de La Quinoa (el cual era trasladado mediante un camión tractor).

A mediados del año 2003 se procede a construir un nuevo tren de columnas de adsorción en Yanacocha Norte (6 columnas), así como la construcción de un nuevo circuito de adsorción, dos plantas de desorción y las plantas de regeneración térmica y química en la planta de procesos La Quinoa, con lo que las actividades de Yanacocha Norte y La Quinoa se independizan.

Hasta el mes de agosto del año 2003 la cantidad de carbón fino almacenado tanto en Yanacocha Norte como en La Quinoa superaba las 100 toneladas. Actualmente, Minera Yanacocha cuenta con tres

plantas de columnas de carbón en las áreas de Yanacocha Norte, La Quinoa y Pampa Larga; ésta última inició sus operaciones a finales del 2004.

Hay que indicar que hasta inicios del año 2004, la captura de carbón fino (o grueso producto de una ala operación) era bastante deficiente, gran cantidad de carbón fino y grueso llegaban sin problema hacia las mangueras de regadío del pad de Yanacocha Norte. El año 2004 se cambió todo el sistema de filtración reduciéndose al mínimo el envío de carbón al pad (actualmente el porcentaje de taponamiento de las mangueras de regadío es menor a 0,5%).

2.1 AREA DE ADSORCIÓN

La planta de procesos Yanacocha Norte cuenta con dos circuitos de adsorción: el primero de ellos consta de 3 trenes de 5 columnas cada uno y el flujo tratado es de 1000 - 1200 m³/h (el diseño base de tratamiento de flujo es 1248 m³/h), cada columna tiene una capacidad para 2,5 toneladas de carbón activado. El segundo circuito (Adsorción # 2) cuenta con un solo tren de 6 columnas, de diferente volumen, siendo la distribución del carbón activado como sigue: Col 1 (7,5 t), Col 2 (7,5 t), Col 3 (7,5 t), Col 4 (5 t), Col 5 (5 t) y Col 6 (2,5 t). El flujo tratado en este circuito es de 900 – 1100 m³/h.

De acuerdo al flujo tratado y el volumen de las columnas de adsorción el tiempo de retención es de aproximadamente 36 segundos por columna.

Ambos circuitos operan en un sistema de cascada a contracorriente, tal como se puede observar en el diagrama adjunto (tren 1).

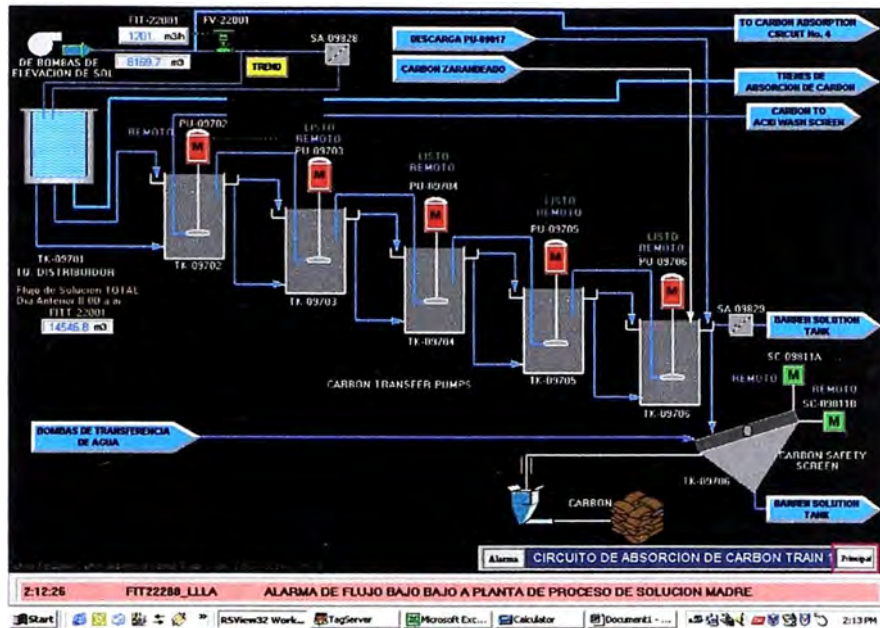


FIGURA 8. Pantalla de control del circuito de Adsorción tren 1

La solución proveniente de la etapa de lixiviación es distribuida a ambos circuitos de adsorción. La solución ingresa por la parte inferior de cada columna (por gravedad), atravesando pequeños distribuidores de flujo a fin de poder maximizar el contacto carbón fluidizado – solución rica.

La solución pasa por todas las columnas de cada tren, esta solución inicialmente es llamada solución rica y al salir de la última columna es llamada solución barren.



FIGURA 9. Vista panorámica del circuito de adsorción # 1

2.1.1 SISTEMA DE TRANSFERENCIA

Los circuitos de adsorción operan en un sistema cascada contracorriente, mientras que la ley de solución rica va disminuyendo desde la primera columna hacia la última, el carbón activado va incrementando su ley desde la última columna hacia la primera.

El objetivo de la planta es mantener una eficiencia de recuperación cerca del 95 % en oro (solución barren vs solución rica), con lo que cada cierto tiempo las primeras columnas (columnas ya cargadas de oro) son transferidas hacia el área de desorción, luego de esto las segundas columnas son transferidas hacia las primeras, las terceras hacia las segundas, las cuartas hacia las quintas (la sexta hacia la quinta en el circuito de adsorción #2), las últimas columnas son llenadas con carbón activado desorbido (bajos contenidos de oro, plata, cobre y mercurio), cerrándose el ciclo de esta manera. Cada circuito de desorción cuenta con una capacidad de 7,5 toneladas de carbón por lote.

Cada columna del circuito de adsorción está equipada con una bomba centrífuga para realizar la transferencia de carbón,

teniéndose bombas de diferentes potencias (2 HP, 5 HP, 7 HP y 10 HP). Con lo que los tiempos de transferencia entre columna y columna varían entre 25 a 45 minutos (el diseño base de las bombas de transferencia indica un flujo de $11,4 \text{ m}^3/\text{h}$).

Todo el sistema de tuberías entre columna y columna es de HDPE (traducido al español “polietileno de alta densidad”), el cual tiene una baja rugosidad a fin de prevenir el fraccionamiento del carbón.



FIGURA 10. Vista del tren 2 del circuito de Adsorción # 1

2.1.2 SISTEMA DE CAPTURA DE FINOS

Cada tren cuenta con una zaranda (malla 100 mesh) ubicada después de la última columna, teniendo como objetivo retener el carbón fino/grueso que contiene la solución barren, esta solución limpia y pobre en contenido de oro es enviada nuevamente al pad de lixiviación de Yanacocha Norte. En la línea de envío de solución barren al pad se tiene una batería de filtros tornado (malla 80 mesh) a fin de recuperar todo el carbón fino/grueso que no halla podido ser retenido en las zarandas previas (mala operación, rotura de mallas, etc.) y garantizar que no llegue al pad ya que tendría

consecuencias negativas para la lixiviación (taponamiento de mangueras).

Dependiendo de sus características, el carbón recolectado puede ser retornado al circuito de adsorción (carbón grueso) o a su almacenamiento para su posterior tratamiento (carbón fino).



FIGURA 11. Zaranda Derrick

2.1.3 PARÁMETROS DE OPERACIÓN

La solución rica que ingresa a los circuitos de adsorción tiene las siguientes características:

pH	9 – 10
CN ⁻	15 – 35 ppm
Temperatura	4 – 15 ° C
Contenidos	Oro 0,5 – 2 ppm y Plata 1 – 3 ppm

El flujo total tratado en ambos circuitos es de 2000 m³/h aproximadamente (diseño 1948 m³/h)

Las columnas de carbón activado (dependiendo de la ley de ingreso) permanecen en cada columna entre 8 – 16 horas (es decir un total 40 – 80 horas de carguío). El carbón luego de la etapa de desorción tiene una ley de 0,02 g de oro/kg de carbón (ingreso a las quintas

columnas) y al terminar el ciclo de adsorción 2 – 4 g de oro/kg de carbón.

A continuación se adjunta la curva de equilibrio del sistema carbón activado – ley de solución (datos reales de planta).

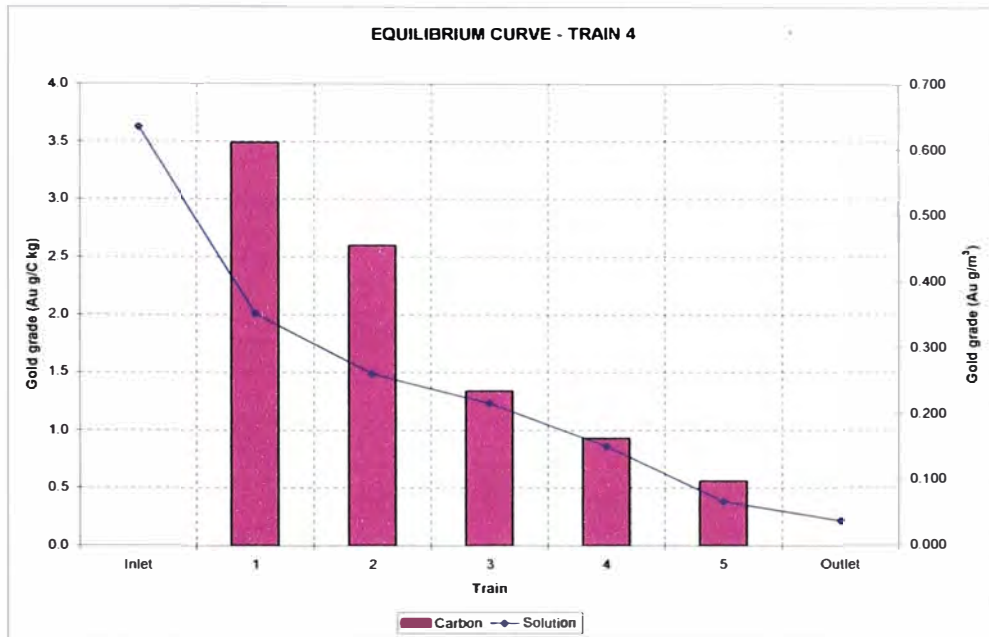


FIGURA 12. Curva de equilibrio del circuito de Adsorción

2.2 AREA DE DESORCIÓN

El carbón que sale de la etapa de adsorción es transferido hacia los circuitos de desorción (# 1 y/o # 2). Cada circuito de desorción trata 7,5 t de carbón y el ciclo de desorción es de 7-9 horas.

La etapa de desorción se lleva a alta temperatura (120–140 °C), y una presión de 310 kPa (presión máxima de diseño 670 kPa) , para lo cual se tiene un calentador de aceite, en el cual se quema diesel permitiendo calentar al aceite el cual transfiere su calor a la solución de desorción mediante intercambiadores de placas.

Adicionalmente a esto, se agrega soda cáustica y cianuro de sodio en la etapa inicial de la desorción.

El ciclo de desorción tiene las siguientes etapas:

Adición de soda cáustica y cianuro de sodio

Recirculación de solución rica (hasta llegar a 130 °C)

Enjuague y lavado del carbón

Precalentamiento de la solución para el siguiente ciclo

Todo el circuito de desorción tiene indicadores de temperatura y presión para poder realizar los controles respectivos para una buena operación.

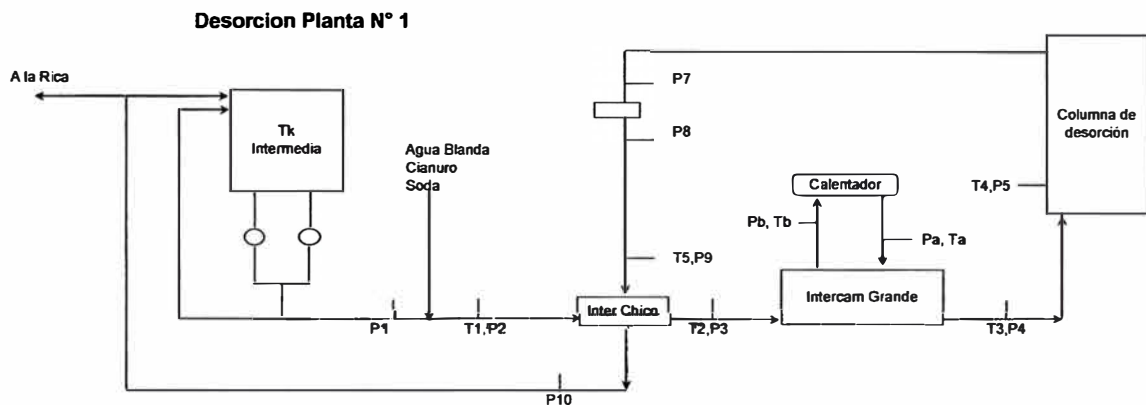


FIGURA 13. Esquema del circuito de desorción # 1

2.2.1 ADICIÓN DE SODA CÁUSTICA Y CIANURO

Una vez que el carbón es cargado en la columna de desorción, la primera etapa del proceso consiste en adicionar una 3.5 m³ de una solución de soda cáustica (0.086 kg de soda/l) a fin de garantizar un pH básico para la etapa de desorción, y 5–10 m³ de una solución de cianuro de sodio (0.12 kg de cianuro de sodio/l).

2.2.2 PROCESO DE ELUCIÓN

Una vez que se ha adicionado la soda cáustica y el cianuro de sodio (llamada solución presoak) se inicia la segunda etapa del proceso de desorción: la recirculación de 30–50 m³ de solución llamada “intermedia” a un flujo de 18-25 m³/h, con una temperatura de 60 °C aproximadamente. La solución intermedia es bombeada hacia la

columna de desorción, antes de llegar a la columna se tienen dos intercambiadores de calor de placas Sigma:

Intercambiador de Calor de Recuperación, (consta de 41 placas de 316 SS, las cuales tienen un área de transferencia de 0,22 m² por placa, área total de 9,02 m², el diseño original era de 5,2 m²) donde ocurre la transferencia de calor de la solución que sale de la columna de desorción con la solución intermedia (se tiene un incremento de 20 °C en la solución intermedia).

Intercambiador de Calor de Fluido Térmico, (consta de 87 placas, las cuales tienen un área de transferencia de 0,51 m² por placa, área total 44,37 m², el diseño original de área de transferencia es de 55,4 m²) donde ocurre la transferencia de calor del aceite caliente con un flujo de 225 – 320 m³/h que proviene del calentador de aceite (en el cual se quema diesel) con la solución intermedia que sale del intercambiador (se tiene un incremento de 40 °C en la solución intermedia).

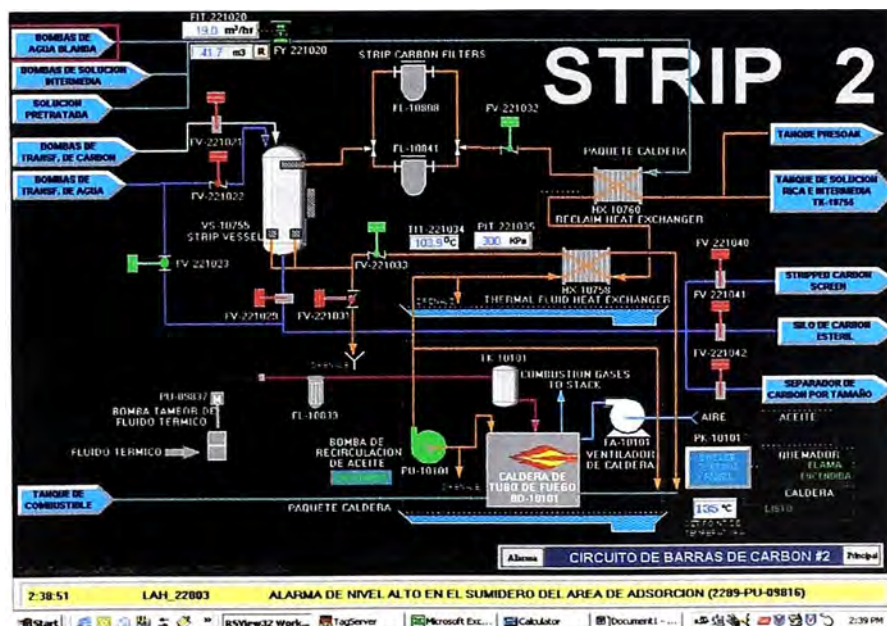


FIGURA 14. Pantalla de control del circuito de Desorción # 2

La solución intermedia que sale del intercambiador de calor grande ingresa por la parte inferior de la columna de desorción, la cual tiene 6 distribuidores de flujo, luego de transcurrir todo el lecho de carbón, la solución intermedia pasa por un filtro de 10 mm de abertura en la parte superior de la columna, luego de esto la solución sale de la columna y pasa por un sistema de filtro de mallas (de abertura 200 micras), tanto el filtro en la parte superior de la columna como los filtros de malla tienen el objetivo de evitar el paso de carbón fino hacia los intercambiadores de calor (disminución de la eficiencia de transferencia de calor y restricción del flujo de recirculación), luego de pasar por los filtros de malla, la solución intermedia pasa por el intercambiador de calor chico para finalmente llegar al tanque de almacenamiento de solución intermedia.

Se recircula esta solución hasta alcanzar una temperatura de 120-135 °C (durante esta etapa de calentamiento se da la desorción del carbón y el enriquecimiento de la solución intermedia), luego de alcanzar esta temperatura la solución intermedia (con una ley de 100 – 400 ppm de oro) es enviada hacia el proceso de precipitación con zinc Merrill Crowe.

La tercera etapa del proceso de desorción es el lavado y enjuague del carbón que está en la columna de desorción, para esto se inyecta agua blanda a la columna, esta agua pasa también por ambos intercambiadores de calor, pero en vez de almacenarla en el tanque de solución intermedia es enviada directamente hacia la planta de Merrill Crowe, en esta etapa se utilizan entre 30-60 m³ de agua.

La última etapa del proceso consiste en seguir inyectando agua a la columna pero en vez de enviarla a la planta Merrill Crowe es almacenada en el tanque de solución intermedia (puesto que esta solución pasa por los intercambiadores de calor nos permite calentar la solución con la que se iniciará la recirculación del siguiente ciclo

de desorción).

2.2.3 PARAMETROS DE OPERACIÓN

El carbón a desorber tiene las siguientes características:

Contenidos : 1,00 – 2,00 Au g/kg de carbón, y
3,00 – 5,00 Ag g/kg de carbón.

Siendo necesario los siguientes parámetros de operación:

Soda cáustica : 300 kg/batch
Cianuro de sodio : 50 kg/batch
Temperatura : 120 – 140 °C
Presión : 310 kPa

Para obtener como productos:

Eluído : 130 Au ppm y 280 Ag ppm
Carbón : 0,10 – 0,20 Au g/kg de carbón, y
0,15 – 0,50 Ag g/kg de carbón.

La siguiente figura muestra una curva de desorción típica: Contenido de oro en el eluído vs. Tiempo.

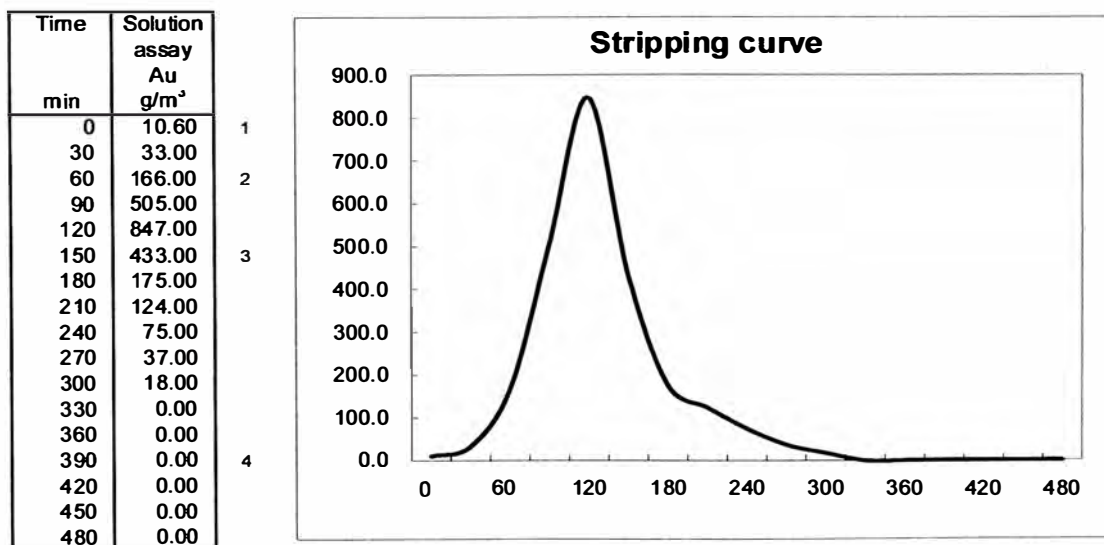


FIGURA 15. Curva típica de desorción

2.2.4 BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA EN LA ETAPA DE DESORCIÓN

A continuación se presenta el resumen del balance de materia y energía para un lote de desorción de 7,5 toneladas de carbón.


 BALANCE DE ENERGIA CIRCUITO DE DESORCION - PLANTA YANACOCCHA NORTE						
ENTRADA			SALIDA			
		Temper. ° K	Calor KJoule		Temper. ° K	Calor KJoule
1. SOLUCIONES / REACTIVOS				1. SOLUCIONES / REACTIVOS		
Elementos / Compuestos			5,570,655	Elementos / Compuestos		
Solucion de elucion rec	40,000 Kg	407	7,453,800	Solucion de elucion rec	40,000 Kg	17,392,200
Cianuro	500 Kg	283	(15,150)	Cianuro	500 Kg	105,000
Soda	300 Kg	283	(4,545)	Soda	300 Kg	31,500
Solucion de elucion fresca	30,000 Kg	298	(1,863,450)	Solucion de elucion fresca	30,000 Kg	5,590,350
2. COMBUSTION				2. COMBUSTION		
Elementos / Compuestos			(219,063)	Elementos / Compuestos		
Aire comb O2	3,039 Kg	283	(41,957)	Aire comb O2	868 Kg	147,746
Aire comb N2	11,344 Kg	283	(177,105)	Aire comb N2	11,344 Kg	2,095,409
Diesel	666 Kg	298		Aire comb CO2	2,133 Kg	378,119
3. CARBON ACTIVADO			(45,030)	3. CARBON ACTIVADO		
Elementos / Compuestos				Elementos / Compuestos		
Carbón	4.50 ton	283	(45,030)	Carbón	4.50 ton	128,805
4. GENERACION DE CALOR			22,100,071	4. PERDIDAS DE CALOR		
Elementos / Compuestos				Elementos / Compuestos		
Combustión Diesel			22,100,071	Intercambiadores de placa, lineas enchaquetadas, etc		1,041,652
TOTAL ENTRADA			27,406,633 KJ	TOTAL ENTRADA		
				27,406,633 KJ		

TABLA 2. Balance de Materia y Energía – Desorción

2.3 ÁREA DE REGENERACIÓN

Para mantener la eficiencia de adsorción del carbón activado la planta de procesos de Yanacocha Norte cuenta con las operaciones de Regeneración Química y Regeneración Térmica.

2.3.1 REGENERACIÓN QUÍMICA

La regeneración química con ácido clorhídrico se da antes de la operación de desorción, permitiendo una mejora en la cinética de desorción de oro y la remoción de carbonato de calcio y otras especies inorgánicas.

La desventaja de realizar esta operación antes de la desorción es que el exceso de ácido en el carbón debe ser neutralizado con soda cáustica para evitar la formación de gases de ácido cianhídrico, los cuales pueden ser dañinos para los operadores.

Actualmente el sistema de regeneración química consta de:

Tanque de Mezcla de HCl, en el cual se mezclan 600 kg de HCl industrial al 33 % en peso con 6 m³ de agua para diluir el ácido a 3 %.

Tanque de Lavado Ácido, en este tanque ocurre la regeneración química de las 7,5 toneladas de carbón activado antes de la desorción. El HCl al 3 % se recircula entre los tanques de mezcla de HCl y lavado ácido con un flujo de 18 m³/h durante 1 hora, para luego enjuagar el carbón con un volumen de agua de 30 m³ a 18 m³/h.

Tanque de neutralización, la solución de enjuague utilizada es neutralizada (7,0 < pH < 8,0), a su salida, con 125 kg de soda cáustica y luego es enviada al tanque de solución barren.

A continuación se muestra la pantalla de control de la operación de lavado ácido.

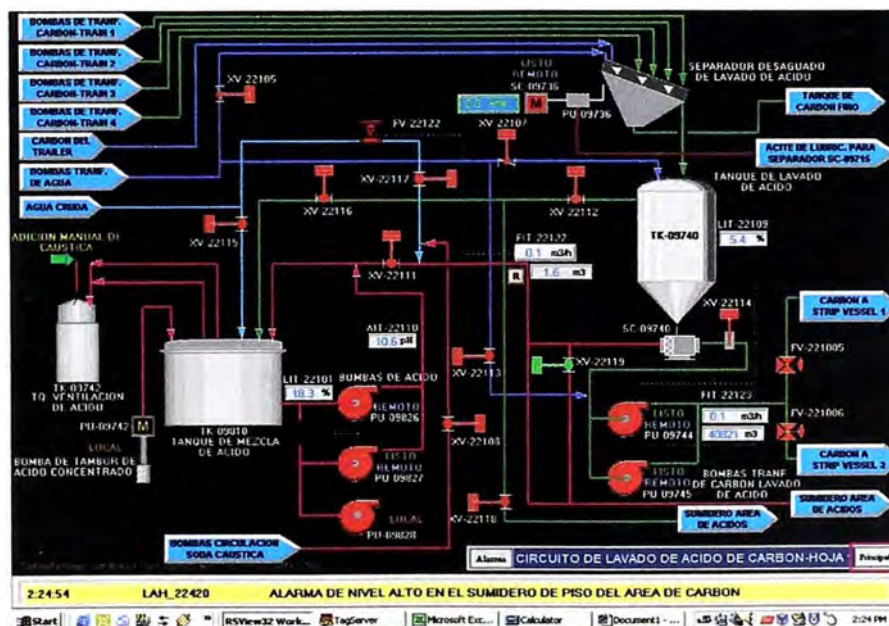


FIGURA 16. Pantalla de control del circuito de Lavado Ácido

La actividad del carbón, luego de las operaciones de lavado ácido y desorción, medida con respecto a un carbón activado virgen se muestra en el siguiente gráfico.

Como puede observarse, la actividad del carbón aumenta con la regeneración química aunque no en gran magnitud.

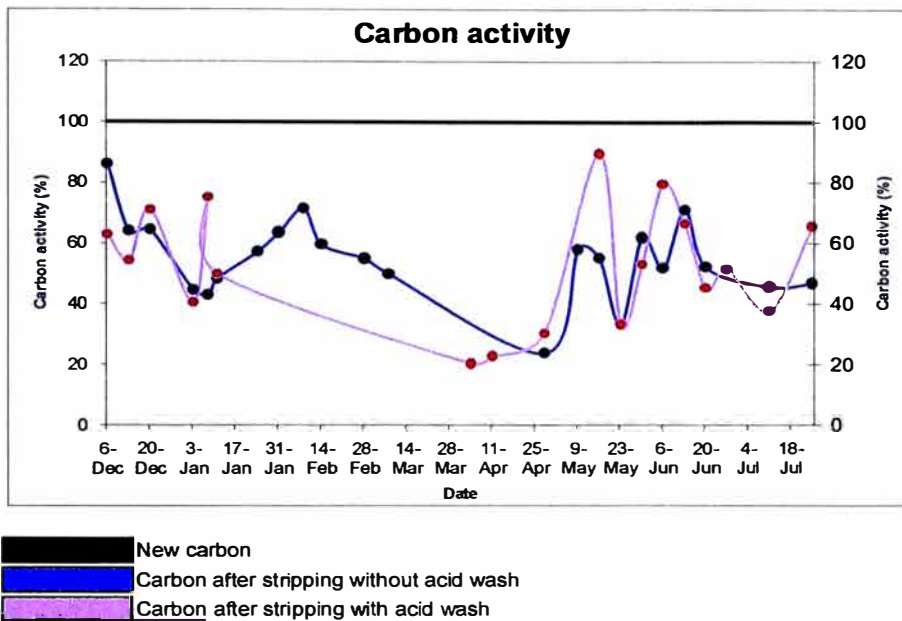


FIGURA 17. Actividad del carbón después de la Regeneración Química

2.3.2 REGENERACIÓN TÉRMICA

Una vez que el carbón activado ha pasado por la operación de desorción, éste puede ser transferido a las últimas columnas de los circuitos de adsorción como se mencionó anteriormente. Sin embargo, de ser necesario, el carbón puede ser transferido al circuito de regeneración térmica para su reactivación a una velocidad de 350 kg/h (el diseño original es de 341 kg/h) y utilizando diesel 2 como combustible; los equipos involucrados en esta operación se describen a continuación:

Pre-secador, este equipo es el encargado de evaporar la humedad que contiene el carbón así como eliminar otras sustancias volátiles a una

temperatura de 120 °C.

- Horno de regeneración, el pre-secador alimenta de forma continua el carbón al horno rotatorio horizontal para su reactivación a 700 °C para luego ser descargado en un tanque de enfriamiento y ser transferido a las últimas columnas de los circuitos de adsorción.

Los gases provenientes de estas etapas salen con una temperatura de 350 °C.

- Scrubber, debido a la alta temperatura de la operación el mercurio adsorbido por el carbón activado es también removido y ya que éste es un elemento dañino para la salud se requiere de un sistema de remoción. Los gases generados en el horno son dirigidos hacia una cámara de lavado o scrubber donde son enfriados a 15 °C utilizando dos corrientes de agua: una superior a 5 m³/h y otra inferior a 10 m³/h.. Parte del mercurio es condensado en este equipo y descargado por gravedad a un tanque inferior con agua (seal pot). Los gases pasan luego por una malla metálica para retener la humedad remanente.

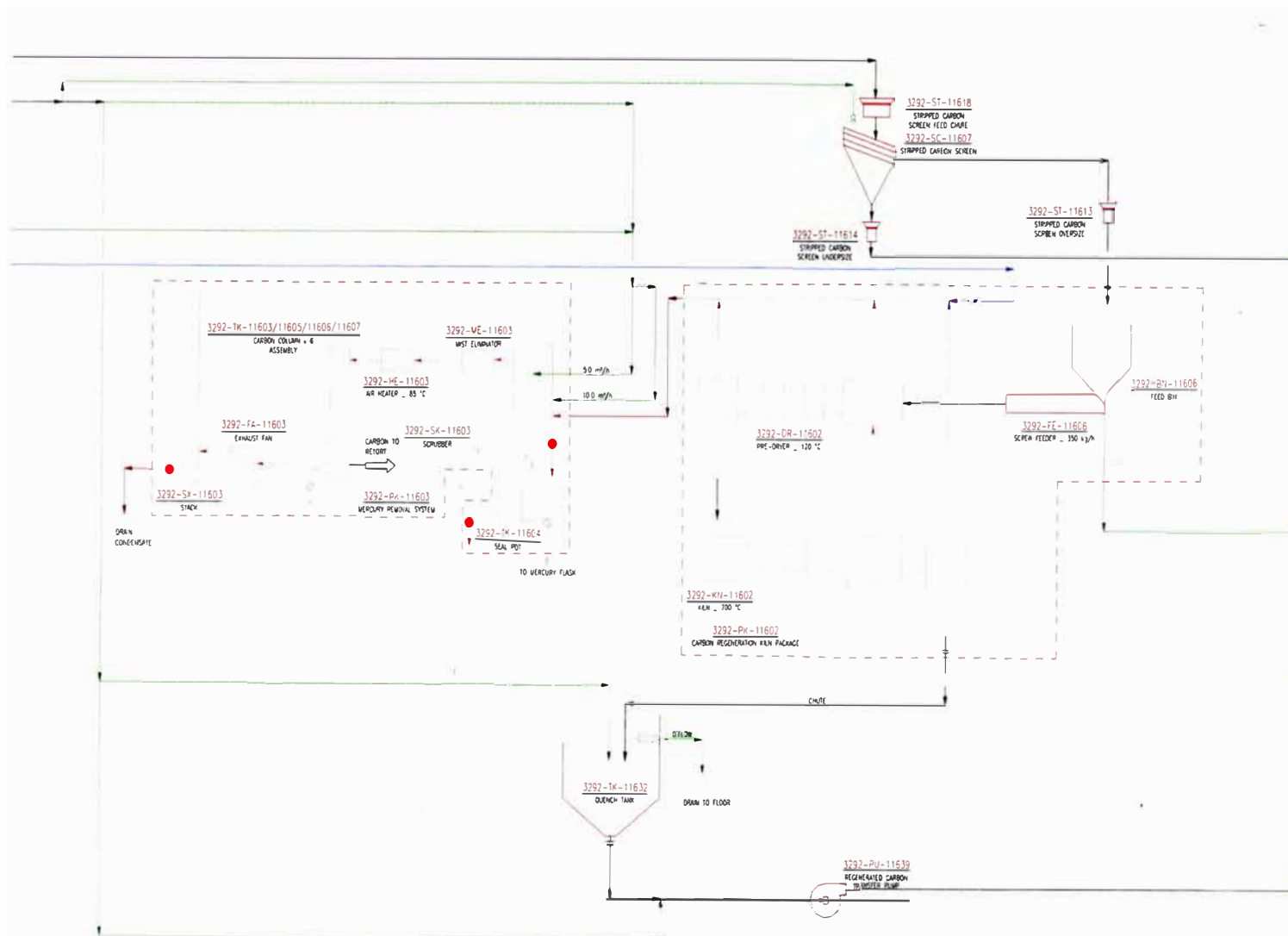


FIGURA 18. Diagrama de flujo e instrumentación de Regeneración Térmica

- Columnas de carbón impregnado con azufre, esta es la última etapa del tratamiento de los gases donde el mercurio remanente que no fue condensado en el scrubber es adsorbido por el carbón sulfurado. La planta cuenta con 6 columnas de 1 tonelada de capacidad cada una, asegurando que los gases de descarga cumplan con los requerimientos ambientales.

Luego de esta operación el carbón activado recupera entre 80 y 100 % su actividad con respecto a un carbón nuevo tal como se muestra en la gráfica siguiente.

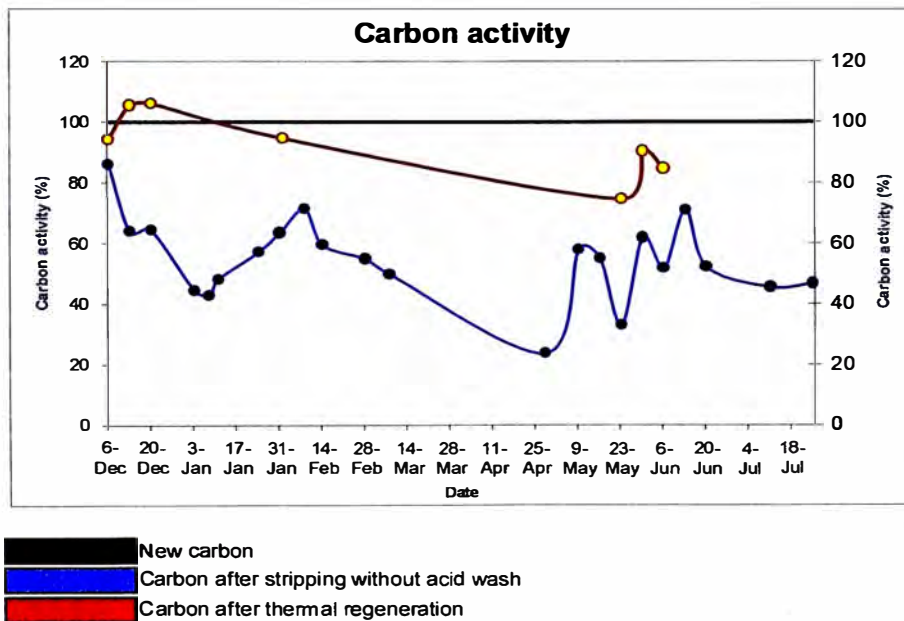


FIGURA 19. Actividad del carbón después de la Regeneración Térmica

La combinación de las operaciones de regeneración química y térmica asegura que la operación de adsorción mantenga una eficiencia de 95 %.

2.3.2.1 BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA EN LA ETAPA DE REGENERACION TERMICA

A continuación se presenta el resumen del balance de materia y energía para una hora de operación del horno de regeneración térmica.


 BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA CIRCUITO DE REGENERACION - PLANTA YANACocha NORTE base 1 hora				
ENTRADA			SALIDA	
		Temper. ° K	Calor KJoule	
1. CARBON ACTIVADO				
Elementos / Compuestos			(16,051)	
Carbón seco	312 Kg/hr	283	(11,802)	
Humedad del carbón	68 Kg / hr	283	(4,249)	
2. COMBUSTION				
Elementos / Compuestos			(22,386)	
Aire comb O2	311 Kg / hr	283	(4,288)	
Aire comb N2	1,159 Kg / hr	283	(18,098)	
Diesel	65 Kg / hr	298	-	
3. GENERACION DE CALOR			1,871,432	
Elementos / Compuestos				
Combustión Diesel			2,043,258	
Evaporación del agua			(171,826)	
TOTAL ENTRADA			1,832,996	
1. CARBON ACTIVADO				
Elementos / Compuestos				589,739
Carbón seco	312 Kg / hr	973	525,825	
Vapor de agua	68 Kg / hr	769	63,914	
2. COMBUSTION				
Elementos / Compuestos				818,220
Aire comb O2	28 Kg / hr	769	12,922	
Aire comb N2	1,159 Kg / hr	769	575,982	
Aire comb CO2	208 Kg / hr	769	99,212	
Aire comb H2O	139 Kg / hr	769	130,090	
Aire comb SO2	0 Kg / hr	769	14	
3. PERDIDAS DE CALOR				425,037
Elementos / Compuestos				
Pérdidas en horno y presecador				425,037
TOTAL SALIDA				1,832,996

TABLA 3. Balance de Materia y Energía – Regeneración Térmica

2.4 BALANCE DE CARBÓN EN PLANTA

El balance de carbón activado indica una pérdida aproximada de 5 a 7 toneladas mensuales de carbón por generación de finos. En este balance no se considera el carbón fino generado en el pretratamiento de carbón nuevo ya que éste no ingresa al circuito.

La distribución de las pérdidas de carbón se presenta:

	% Pérdida de masa			Porcentaje de pérdida total
	Total	kg/día	(kg/ton)	
Adsorción	0.46	104.17	4.630	41.67
Desorción	0.12	27.89	1.239	11.16
Regeneración	1.57	117.94	5.242	47.18
Pérdida total	1.11	250.00	11.111	100.00

TABLA 4. Distribución de las pérdidas de carbón

Desde que el carbón activado es añadido al proceso éste empieza a quebrarse y se vuelve más pequeño. Todo indica que algo del carbón fresco puede fracturarse inicialmente pero una vez que las zonas débiles se han roto, las siguientes fracturas serán por abrasión o remoción de los bordes puntiagudos y atricción uniforme de la superficie.

La planta de Columnas de Carbón cuenta con varias zarandas encargadas de la clasificación del carbón activado, retirando así el carbón fino generado en la planta.

Las zarandas de seguridad (0,15 mm) son ubicadas en las descargas de las últimas columnas para recuperar el carbón grueso que haya podido ser arrastrado por la corriente y a su vez impedir que las partículas de mayor tamaño lleguen al pad de lixiviación donde podrían obstruir los goteros de las mangueras de riego.

El carbón activado del circuito de adsorción que es transferido al circuito de lavado ácido es clasificado con una malla de 0,85 mm. El tamaño de carbón continuará reduciéndose conforme pase por los circuitos de desorción y regeneración térmica. Finalmente, toda partícula más fina que 0,85 mm es removida en la zaranda de carbón separado antes de regresar al circuito de adsorción.

BALANCE DE MATERIA DE ELEMENTOS VALIOSOS

Consideraciones: Base de cálculo, 1 día operativo y 3 lotes de desorción

Adsorción	Masa kg	Ley	Au	Ag	Cu	Hg	Au	Ag	Cu	Hg
			Ley				kg			
In										
Solución rica	48.000.000	g/m ³	1.00	2.00	0.50	1.00	48.00	96.00	24.00	48.00
Carbón nuevo	250	g/kg	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Carbón pobre de strip	22.354	g/kg	0.11	0.21	0.02	0.25	2.36	4.71	0.34	5.59
Total Input	48.022.604		50.36	100.71	24.34	53.59	50.36	100.71	24.34	53.59
Out			7.50	75						
Solución barren	48.000.000	g/m ³	0.05	0.10	0.25	0.50	2.40	4.80	12.00	24.00
Carbón cargado	22.500	g/kg	2.12	4.25	0.55	1.31	47.75	95.71	12.32	29.55
Carbón fino	104	g/kg	2.00	2.00	0.18	0.35	0.21	0.21	0.02	0.04
Total Output	48.022.604		50.36	100.71	24.34	53.59	50.36	100.71	24.34	53.59

Desorción	Masa kg	Ley	Au	Ag	Cu	Hg	Au	Ag	Cu	Hg
			Ley				kg			
In										
Carbón cargado	22.500	g/kg	2.12	4.25	0.55	1.31	47.75	95.71	12.32	29.55
Soda Cáustica	900	g/kg	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Cianuro de Sodio	4.500	g/kg	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Solución intermedia	40.000	g/m ³	40.00	40.00	20.00	20.00	1.60	1.60	0.80	0.80
Agua blanda	210.000	g/m ³	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Total Input	277.900		49.35	97.31	13.12	30.35	49.35	97.31	13.12	30.35
Out										
Solución rica a MC	255.400	g/m ³	0.18	0.36	0.05	0.09	45.38	90.97	11.98	23.93
Gases de Combustión										
Solución intermedia	40.000	g/m ³	40.00	40.00	20.00	20.00	1.60	1.60	0.80	0.80
Carbón pobre	22.472	g/kg	0.11	0.21	0.02	0.25	2.37	4.74	0.34	5.62
Carbón fino	28	g/kg	0.11	0.21	0.02	0.25	0.00	0.01	0.00	0.01
Total Output	277.872		49.35	97.31	13.12	30.35	49.35	97.31	13.12	30.35

Recuperación	Au	Ag	Cu	Hg
Adsorción	95.00%	95.00%	50.00%	50.00%
Desorción	95.02%	95.04%	97.26%	80.97%

Regeneración	Masa kg	Ley	Au	Ag	Cu	Hg	Au	Ag	Cu	Hg
			Ley				kg			
In										
Carbón pobre	7.500	g/kg	0.11	0.21	0.02	0.25	0.79	1.58	0.11	1.88
Agua de enfriamiento (barren)	135.000	g/m ³	0.05	0.10	0.25	0.50	0.01	0.01	0.03	0.07
Total Input	142.500		0.80	1.60	0.15	1.94	0.80	1.60	0.15	1.94
Out										
Carbón regenerado	7.380	g/kg	0.11	0.21	0.02	0.001	0.78	1.56	0.11	0.01
Carbón fino	118	g/kg	0.11	0.21	0.02	0.001	0.01	0.02	0.00	0.00
Agua de enfriamiento (barren)	135.000	g/m ³	0.05	0.10	0.25	0.50	0.01	0.01	0.03	0.07
Mercurio condensado y en CS	2									1.87
Total Output	142.500		0.80	1.59	0.15	1.94	0.80	1.59	0.15	1.94

Recuperación	Au	Ag	Cu	Hg
Eliminación de Mercurio				99.60%

TABLA 5. Balance de carbón activado y metales preciosos

2.5 FUENTES DE GENERACIÓN DE CARBÓN FINO

El carbón activado que ingresa por primera vez a las operaciones de la planta de Carbón en Columnas se encuentra en el siguiente rango de tamaño de partícula: - 3,35 mm + 1,70 mm. El tamaño más grande es limitado ya que un carbón más grueso tiene un ratio de extracción menor, mientras que el tamaño más pequeño es el más indicado para que el carbón pueda ser separado en las diferentes zarandas de la operación. Desde que el carbón ingresa al proceso empieza a romperse o atriccionarse y se vuelve más pequeño. Las pruebas realizadas en la planta de procesos de Yanacocha Norte indican que 6 % en peso del carbón activado nuevo es menor al tamaño de malla deseado, es por esta razón que se realiza previamente un lavado a su ingreso en un tanque de atricción.

El circuito de adsorción cuenta con zarandas ubicadas después de las últimas columnas que clasifican el carbón activado: partículas con tamaños mayores a 0,15 mm son recolectadas para su posterior tratamiento mientras que las más finas dejan el circuito junto con el oro que contienen incrementando las pérdidas de oro en la solución barren. El carbón activado que es transferido desde el circuito de adsorción al de desorción es clasificado a 0,85 mm para maximizar la recuperación. El carbón continuará reduciéndose en tamaño conforme es tratado en los circuitos de desorción y regeneración, cada transferencia ocasiona la abrasión del carbón. Finalmente, todo carbón menor a 1,00 mm es separado en una zaranda clasificadora antes de regresar al circuito de adsorción.

La cantidad de carbón fino que genera cada operación unitaria individual es muy difícil de medir debido a que el cambio en tamaño es mínimo. Sin embargo, se ha podido identificar 2 fuentes importantes de generación de carbón fino:

Atricción por bombas, el área de Investigaciones Metalúrgicas de Minera Yanacocha SRL. ha estudiado este

efecto circulando el carbón por periodos largos de tiempo utilizando una bomba horizontal similar a las existentes en la planta de Columnas de Carbón. El carbón fue muestreado y clasificado mostrando que cada transferencia de carbón significa una pérdida aproximada de 0,50 %. Además, la mayor parte de la atricción del carbón que ocurre en el bombeo es producida en el paso a través de la bomba y la tubería inmediata. Todos los cambios de dirección (codos, tees, yees, etc.) y transiciones (uniones) deberían ser tan lisas como sean posible para evitar zonas de turbulencia.

Atricción durante la regeneración térmica, muy poco se ha hecho para medir las pérdidas de carbón durante la regeneración debido a la dificultad de desarrollar un procedimiento adecuado. Sin embargo, la pérdida de masa promedio se estima en 1,5 % por regeneración.

Desde el inicio de las operaciones de la planta hasta agosto del 2003, el carbón nuevo repuesto en planta Yanacocha Norte fue de 170 toneladas aproximadamente, pero el carbón fino/grueso recuperado en los sistemas de filtración (previo al envío al pad) fue de cerca de 100 ton húmedas. Se asume que la diferencia de tonelaje de carbón fue enviado al pad, como se mencionó al inicio del presente capítulo todo este sistema de filtración ha sido cambiado en su totalidad (dando muy buenos resultados, el porcentaje de taponamiento en las mangueras de riego disminuyo de 25 % a menos de 1 %) con lo cual nos permite un mayor control sobre la generación de carbón fino.

Actualmente la planta de columnas de carbón de Yanacocha Norte genera entre 5 a 7 toneladas de carbón fino mensualmente.

Los puntos de generación de carbón fino y su destino final son mostrados en el diagrama adjunto.

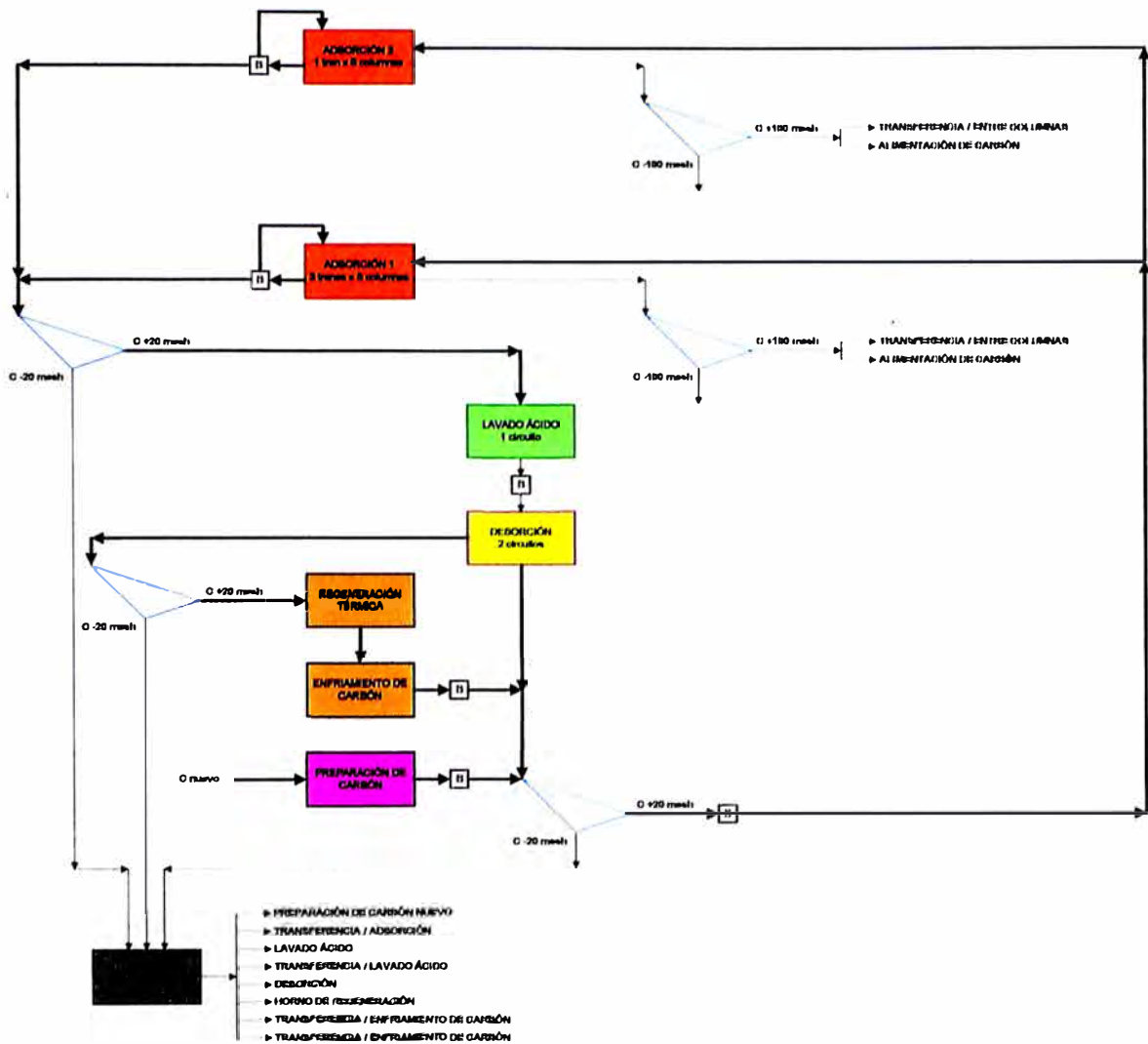


FIGURA 20. Diagrama de generación de carbón fino

CAPÍTULO III

DESCRIPCION Y DESARROLLO EN PLANTA DEL METODO PROPUESTO

3.1 METODOLOGIA DE LA PRUEBA

Actualmente las plantas de desorción en la planta de carbón activado de Yanacocha Norte no trabajan al 100% de su capacidad, esto es debido a como se detalló en el capítulo II, a partir de mediados del 2003 finalizó la construcción del complejo de desorción en la planta de La Quinoa, con lo que las plantas de desorción de Yanacocha Norte dejaron de tratar este carbón y vienen dedicando única y exclusivamente para el carbón de Yanacocha Norte.

Con un acondicionamiento adecuado de sistemas de filtración, para evitar que el carbón fino llegue a los intercambiadores de calor en el circuito de desorción, así como en la solución rica enviada a la planta de Merrill Crowe, el carbón fino que se genera puede ser desorbido tal como un carbón normal o grueso en los tiempos donde las plantas de desorción se encuentran en stand by, luego de ser desorbido el carbón fino será destinado a la venta.

Durante la operación de la planta durante los años mediados 2001, 2002 y 2003 se generaron cerca de 150 toneladas húmedas de carbón, los cuales fueron almacenados en cilindros plásticos de 180 – 200 kilos de capacidad.

3.1.1 CAPACIDAD ACTUAL DE LAS PLANTAS DE DESORCIÓN

Tal como se mencionó anteriormente, durante los años 2001, 2002 y 2003, la planta de carbón activado de Yanacocha Norte procesaba el

carbón cargado proveniente de las columnas de carbón de Yanacocha Norte y La Quinoa.

En el siguiente gráfico podemos observar el número de lotes de desorción que se realizaban en estos años, con lo cual se demuestra que existe tiempo disponible para el tratamiento del carbón fino, sin que este interfiera en la operación normal de la planta.

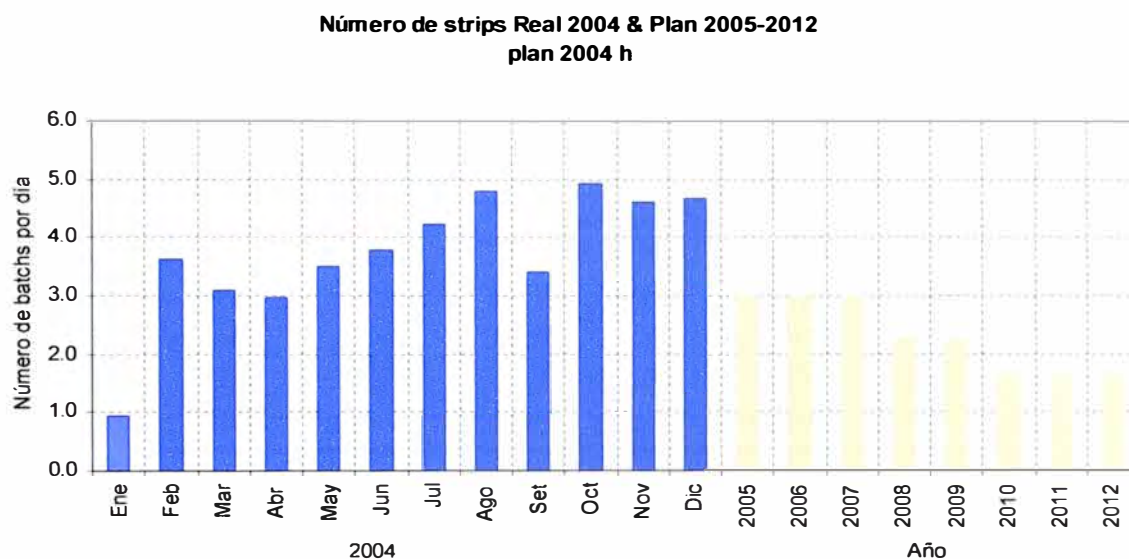


FIGURA 21. Lotes de desorción en planta de columnas de carbón

Los promedios de los años 2002, 2003 y 2004 son 4,05; 4,84 y 3,67 lotes de desorción por día respectivamente.

3.2 GRANULOMETRÍA Y COMPOSICIÓN DEL CARBÓN FINO

El departamento de Metalurgia de Yanacocha Norte procedió a muestrear el carbón fino generado en la planta, a continuación se muestran los resultados.

Malla	Abertura	Peso	%
40	425	135,8	35,2
60	250	134,2	34,8
100	150	60,4	15,6
200	75	53,4	13,8
-200	-75	2,3	0,6
TOTAL		386,1	100

TABLA 6. Análisis granulométrico del carbón fino

Malla	Abertura micrones	Peso [%]	Leyes [kg/t]		
			Au	Ag	Cu
40	425	35,2	1,21	0,52	0,20
60	250	34,8	2,66	0,35	0,05
100	150	15,6	0,78	0,10	0,01
200	75	13,8	0,04	0,13	2,65
-200	-75	0,6	0,13	0,59	0,13
C. Calc.		100			

TABLA 7. Composición del carbón fino

El departamento de investigaciones procedió a muestrear los cerca de 800 cilindros almacenados en la planta durante más de dos años de operación, debido a este tiempo gran cantidad de carbón se encontraba formando una materia pastosa, los resultados de este muestreo solo pueden considerarse referenciales debido al prolongado tiempo de almacenamiento (que origina la formación de material pastoso).

% H₂O	Malla	Au g/Kg C	Ag g/Kg C	Cu mg/Kg C	Hg mg/Kg C	% Peso
29,67	(+20 m)	1,259	0,777	136,4	990,7	96,481
	(-20 m)	2,723	1,812	88,93	1037	3,52
COMPOSITO		1,907	1,235	115,38	1011	100

TABLA 8. Muestreo de carbón fino

3.3 ACONDICIONAMIENTO DE PLANTA

A continuación se detallan los trabajos realizados así como los cambios realizados en algunas líneas y la instalación de equipos de filtración en la planta de carbón activado de Yanacocha Norte.

- a) Se trasladó el carbón de los cilindros hacia la loza de almacenamiento de soda cáustica. Con la ayuda del montacargas se vaciaron los cilindros azules en sacos de almacenamiento de carbón (el reglamento de seguridad de Minera Yanacocha prohíbe el izaje de este tipo de cargas sin la correspondiente plataforma).
- b) Con la ayuda del tecele se levanto los sacos y se introdujo por la malla lateral de la tolva de alimentación al tanque de carbón nuevo (para evitar el ingreso de piedras, fierros, etc al tanque). En esta etapa no se puede mencionar la granulometría del carbón puesto que este se encontraba formando un material pastoso con alto contenido de mercurio.



FIGURA 22. Movimiento de carbón



FIGURA 23. Ingreso de carbón

- c) Utilizando la línea que conecta el tanque de carbón nuevo con el silo de carbón descargado que se utilizaba cuando se trataba carbón proveniente de la planta de La Quinoa, se desmonto parte de esta tubería y se instaló una manguera para poder cargar directamente a la columna de desorción N° 2 (a fin de eliminar cualquier retorno de este carbón al proceso actual, no se utilizó ningún equipo de clasificación tal como mallas o zarandas).



FIGURA 24. Ingreso de carbón a columna de desorción

- d) Antes del inicio del tratamiento de carbón fino se instaló un filtro para la solución de recirculación de desorción antes de los intercambiadores de calor y otro filtro para el envío de solución rica a la planta de Merrill Crowe, ambos con lonas filtrantes de 1 micra de abertura. Según el análisis del carbón por parte del departamento de metalurgia más del 95% aprox. del carbón fino es malla +200 (aprox. 75 micras, las telas filtrantes utilizadas son de 1 micra pero de corta duración, con esto se elimina el riesgo de paso de carbón fino hacia los intercambiadores).



FIGURA 25. Filtro externo



FIGURA 26. Filtro en bombeo a Merrill Crowe

- e) Como medida de protección en caso las lonas filtrantes dentro del filtro en el proceso de desorción se rompan (por mala fabricación, por alta temperatura, por alta presión, etc) se colocó una malla metálica de 100 micras externamente al soporte metálico de las lonas filtrantes.



FIGURA 27. Malla metálica

- f) Se instaló una manga de geomembrana en la descarga del silo de carbón descargado (utilizado anteriormente para el transporte de carbón hacia La Quinoa), para que al final de la etapa de desorción el carbón sea descargado a este silo y luego llenado sin problemas a los sacos vacíos de carbón, para su posterior muestreo y aprovechar también la exposición al medio ambiente para la evaporación del contenido de humedad.



FIGURA 28. Descarga de carbón

3.4 PRUEBAS A NIVEL INDUSTRIAL

3.4.1 VARIABLES DEL PROCESO

A continuación se inició el proceso de desorción con los siguientes parámetros:

Flujo de operación : $18 \text{ m}^3/\text{h}$ (normal es $25 \text{ m}^3/\text{h}$)

Tonelaje de carbón : 4,5 t (normal es 7,5 t)

Adición de soda cáustica : 300 kg

Adición de cianuro de sodio : 2 m^3 (pruebas a) y 4 m^3 (pruebas b)

Set point del calentador de aceite : $135 \text{ }^\circ\text{C}$ (se tuvo que controlar a fin de que no supere los $145 \text{ }^\circ\text{C}$ para evitar problemas con los empaques,

la temperatura normal de trabajo es inferior a 145 °C, pero podría darse el recalentamiento por efecto del flujo).

3.4.2 PROBLEMAS OPERATIVOS

Los problemas operativos durante la etapa de desorción fueron:

Saturación del filtro interior superior (resuelto con la limpieza respectiva del filtro).

Tapado de la línea de carga de carbón hacia la columna de desorción (resuelto con la limpieza de la línea con agua y aire).

Saturación de la lonas filtrantes (resuelto con la limpieza o cambio de lona).



FIGURA 29. Filtro interno



FIGURA 30. Lona filtrante saturada

3.5 RESULTADOS OBTENIDOS

3.5.1 PRUEBAS PRELIMINARES

Se realizaron dos lotes de desorción de carbón fino fresco (recién recolectado de los equipos de clasificación existentes en la planta de carbón activado).

Se obtuvieron eficiencias de recuperación de 97% aproximadamente tanto de oro como de plata. A continuación se muestran los resultados obtenidos de estas dos primeras pruebas.

Prueba 1	Au g/kg C	Ag g/kg C	Hg mg/kg C	Cu mg/kg C
Carbon Cargado	2,118	0,629	398,3	132,4
Carbon Descargado	0,078	0,025	230,3	38,13
% Recuperación	96,31%	96,03%	42,18%	71,20%

TABLA 9. Primera prueba de desorción

Prueba 2	Au g/kg C	Ag g/kg C	Hg mg/kg C	Cu mg/kg C
Carbon Cargado	2,269	0,774	369,2	133,5
Carbon Descargado	0,046	0,021	273,6	22,84
% Recuperación	97,97%	97,29%	25,89%	82,89%

TABLA 10. Segunda prueba de desorción

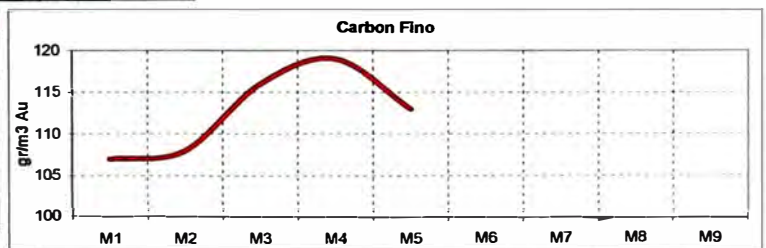
Durante estas dos pruebas no se presentaron problemas operativos durante la desorción.

A continuación se adjunta el resumen de resultados de una de las pruebas realizadas.

Tonelaje 4
Fecha 10-Oct-03
Humedad 40%

	Au g/kg C	Ag g/kg C	Hg mg/kg C	Cu mg/kg C
Carbon Cargado	2,269	0,774	369,2	133,5
Carbon Descargado	0,046	0,021	273,6	22,84
% Recuperación	97,97%	97,29%	25,89%	82,89%

Muestras	Au	Ag	pH
M1	107	45	
M2	108	49	
M3	116	42	
M4	119	42	
M5	113	26	
M6			
M7			
M8			
M9			



Balance de soluciones	
Oro	102
Plata	39
Fujo enviado a MC	
T1	28.4
T2	

Balance de Carbón	
Oro	114
Plata	39

Muestra de solución rica					
	Au	Ag	Hg	pH	Hg
T1	111,2	42,8			
T2	111,2	42,8			
Contramuestra					

FIGURA 31. Resultados de primera prueba de desorción

3.5.2 PRUEBAS CARBÓN FINO ALMACENADO DURANTE DOS AÑOS Y CON ADICIÓN DE 2 m³ DE CIANURO

A raíz de los buenos resultados obtenidos se procedió a tratar el carbón fino almacenado en los cilindros durante aproximadamente dos años, los resultados no fueron tan satisfactorios como los esperados (se mantuvo la adición de 2 m³ por lote de cianuro de sodio como en una operación normal, su equivalente en planta es del 20% del tanque de cianuro de sodio).

Se realizaron 14 lotes de desorción de 4 a 4,5 toneladas de carbón cada uno, teniéndose una recuperación global de 85 % de oro y 86 % de plata.

A continuación se resume los resultados obtenidos de los 14 lotes de carbón desorbido:

PRUEBA N°	CARBON CARGADO				CARBON DESCARGADO			
	Au g/kg C	Ag g/kg C	Hg mg/kg C	Cu mg/kg C	Au g/kg C	Ag g/kg C	Hg mg/Kg C	Cu mg/kg C
1	2,12	0,63	398	132	0,08	0,03	230	38
2	2,27	0,77	369	134	0,05	0,02	274	23
3	3,60	0,87	879	421	0,29	0,05	522	16
4	2,07	0,84	330	196	0,02	0,18	270	24
5	3,18	1,88	3653	246	0,55	0,52	893	19
6	3,23	1,44	1146	164	0,43	0,09	282	53
7	2,11	0,87	710	285	0,20	0,14	417	15
8	2,25	0,94	838	283	0,14	0,06	301	24
9	3,21	1,62	1504	204	0,08	0,03	212	18
10	2,13	0,87	1154	237	0,53	0,14	369	42
11	1,88	1,17	2316	177	0,76	0,18	584	72
12	3,19	0,92	429	332	0,89	0,21	392	17
13	2,59	1,06	1124	245	0,40	0,16	396	29
14	2,39	0,93	891	367	1,25	0,42	406	15

TABLA 11. Pruebas de desorción con 2 m³ de cianuro de sodio

Como promedio de los resultados obtenidos tenemos:

RESUMEN	Au g/Kg C	Ag g/Kg C	Hg mg/Kg C	Cu mg/Kg C
Carbón Cargado	2,63	1,10	1152	242
Carbón Descargado	0,38	0,15	383	28
% Recuperación	84,9%	86,2%	54,3%	85,6%

TABLA 12. Resumen de resultados

3.5.3 PRUEBAS CARBÓN FINO ALMACENADO DURANTE DOS AÑOS Y CON ADICIÓN DE 4 m³ DE CIANURO

De acuerdo a los resultados obtenidos en los primeros 14 lotes, se procedió a incrementar la adición de cianuro a 4 m³ (esto a raíz de los contenidos de mercurio que analizaremos en el punto 3.6)

A continuación se resume los resultados obtenidos de los 9 lotes de carbón desorbido:

PRUEBA N°	CARBON CARGADO				CARBON DESCARGADO			
	Au g/kg C	Ag g/kg C	Hg mg/kg C	Cu mg/kg C	Au g/kg C	Ag g/kg C	Hg mg/kg C	Cu mg/kg C
1	2,89	3,12	949	456	0,10	0,10	137	89
2	2,50	1,40	850	345	0,02	0,03	135	24
3	1,23	2,49	918	348	0,07	0,09	179	23
4	0,80	1,65	439	260	0,06	0,05	184	21
5	1,60	3,27	760	383	0,02	0,02	86	19
6	2,75	1,03	541	199	0,05	0,03	226	29
7	3,05	1,26	1087	143	0,08	0,03	180	43
8	0,87	1,40	1260	158	0,09	0,06	433	31
9	1,23	3,21	891	362	0,06	0,04	96	13

TABLA 13. Pruebas de desorción con 4 m³ de cianuro de sodio

RESUMEN	Au g/Kg C	Ag g/Kg C	Hg mg/Kg C	Cu mg/Kg C
Carbón Cargado	1,88	2,09	855	295
Carbón Descargado	0,06	0,05	184	32
% Recuperación	96,8 %	97,6%	78,5%	89,0%

TABLA 14. Resumen de resultados

3.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En las dos primeras pruebas realizadas con carbón fino que se había recuperado recientemente (sin presencia de material pastoso y con bajo contenido de mercurio menos de 350 g/t C) las eficiencias de recuperación fueron de 97 % aproximadamente.

Durante las pruebas realizadas con carbón fino almacenado durante dos años con 2 m³ de cianuro de sodio, la recuperación global de oro fue de 85 %

aproximadamente. Esta baja recuperación está relacionada con los altos contenidos de mercurio en el carbón fino.

La siguiente gráfica nos da una tendencia de la relación entre el contenido de mercurio en el carbón fino y el contenido de oro en el carbón fino desorbido (relacionado con la eficiencia de desorción). Claramente se observa una tendencia negativa entre ambas variables.

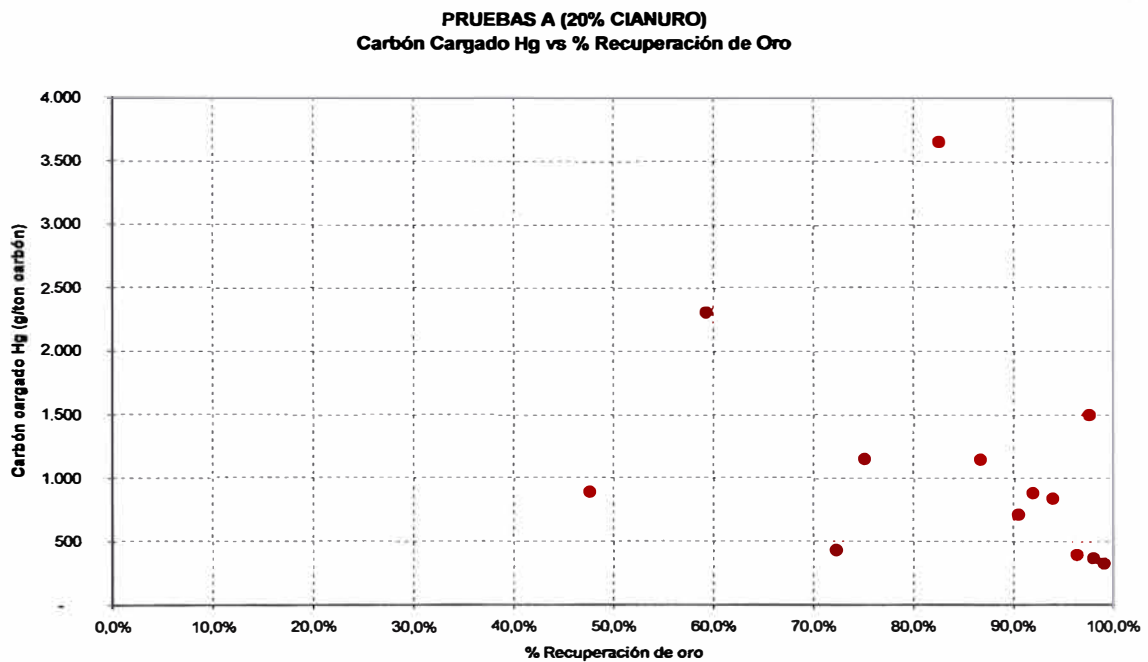


FIGURA 32. Relación entre contenido de mercurio en el carbón cargado y eficiencia de desorción (carbón fino)

Al revisar los resultados de la operación normal de carbón grueso, se pudo comprobar la relación existente entre altos contenidos de mercurio y bajas eficiencias de desorción (a una misma cantidad de cianuro adicionada). En la siguiente gráfica se muestran estos resultados:

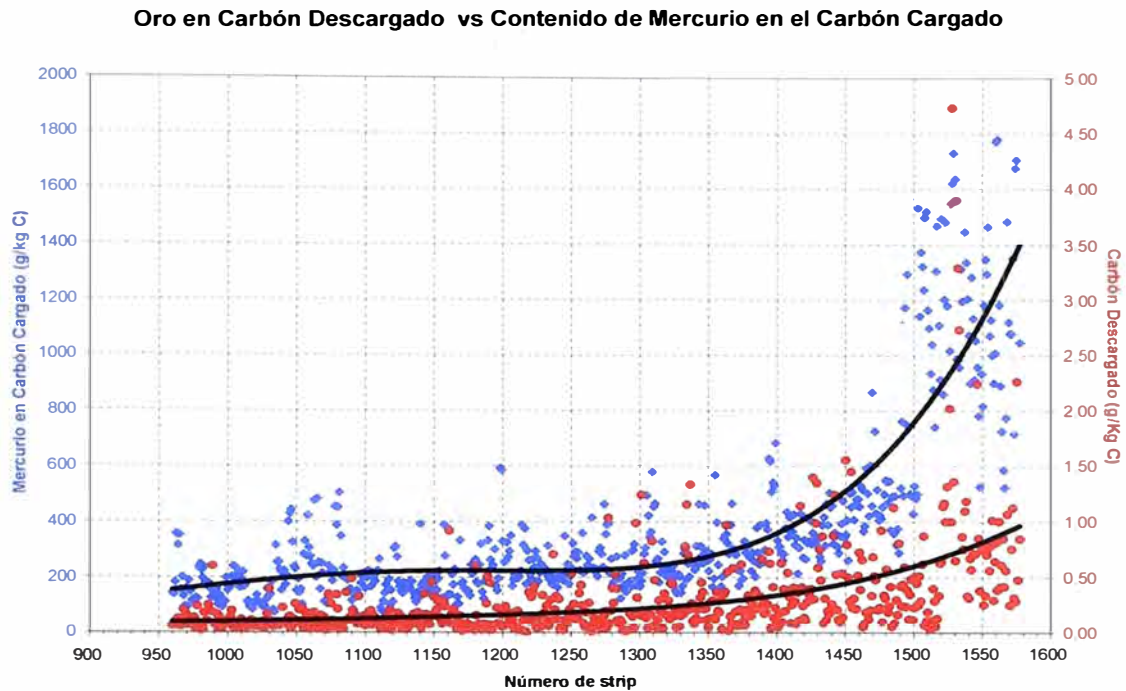


FIGURA 33. Relación entre contenido de mercurio y leyes de carbón luego de la etapa de desorción (carbón grueso)

El incremento a 4 m³ de adición de cianuro resultó en un incremento en la eficiencia de desorción, en el lote b de pruebas la eficiencia de recuperación fue por encima del 95 %.

Este aumento en la fuerza de cianuro de la solución de desorción del carbón fino (mas de 400 ppm de CN⁻ en la solución rica) no interfiere en la operación normal de las plantas que suceden a la Planta de carbón activado, tales como la planta Merrill Crowe y Planta de Tratamiento de aguas de excesos, debido a la cantidad de solución rica que se envía (cerca de 50 m³, a un ratio de 5 m³/h por lote de carbón desorbido) en comparación al flujo que trata la planta de Merrill Crowe (mas de 2500 m³/h a una concentración de 30 ppm CN⁻).

3.7 CÁLCULOS DE INGENIERIA EN EL DISEÑO DEL PROCESO DE DESORCION DEL CARBON FINO

A continuación se presentarán los cálculos en el diseño del proceso de la desorción del carbón fino.

Tal como se definió en el punto 3.4.1, la desorción del carbón fino fue definida mediante las siguientes variables:

- Flujo de operación : 18 m³/hr (normal es 25 m³/h)
- Tonelaje de carbón : 4,5 t (normal es 7,5 t)
- Set point del calentador de aceite : 135 °C (se tuvo que controlar a fin de que no supere los 145 °C para evitar problemas con los empaques, la temperatura normal de trabajo es inferior a 145 °C, pero podría darse el recalentamiento por efecto del flujo).

3.7.1 DEFINICION DEL VALOR DE TEMPERATURA

El proceso Zadra de desorción difiere de los procesos normales de desorción puesto que se realiza a alta temperatura y regular presión. La elección del set de temperatura de la solución de desorción fue de 130 °C a fin de garantizar una alta eficiencia en la desorción del carbón fino.

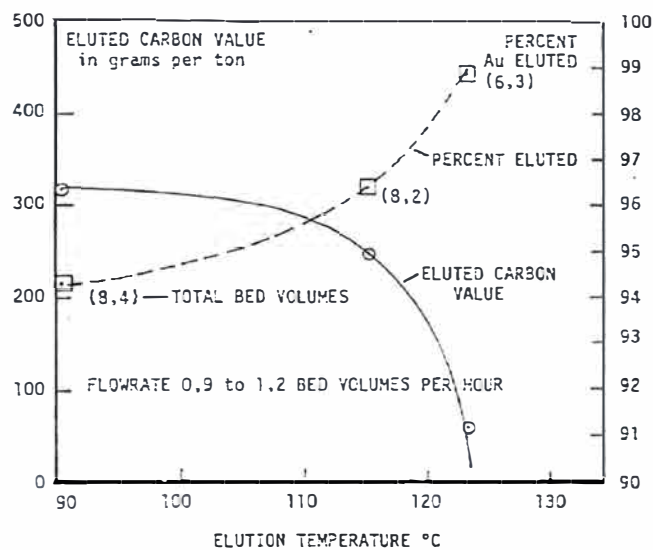


FIGURA 34. Relación entre el contenido de oro en el carbón descargado y la concentración de oro en la solución de desorción.

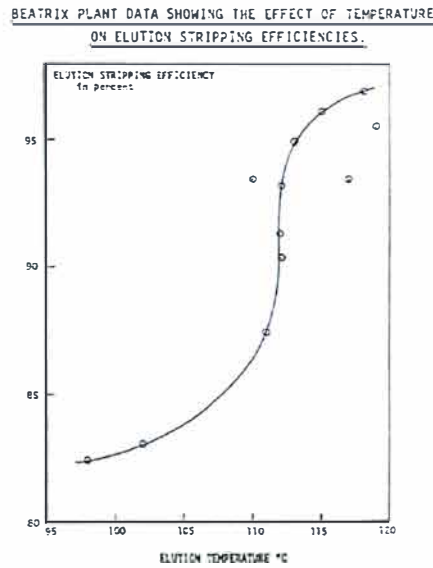


FIGURA 35. Relación entre la eficiencia de desorción y la temperatura.

3.7.2 CINÉTICA DE DESORCIÓN DEL CARBÓN FINO A 130 ° C

Definida la temperatura de 130 °C, y mediante el análisis del contenido de oro en la solución de desorción se procederá a calcular la cinética de la desorción del carbón fino.

El sistema de recirculación de la solución de desorción actual de planta puede ser definido como un Reactor Intermitente con Recirculación (Ingeniería de la cinética química, J.M. Smith) de acuerdo al gráfico siguiente:

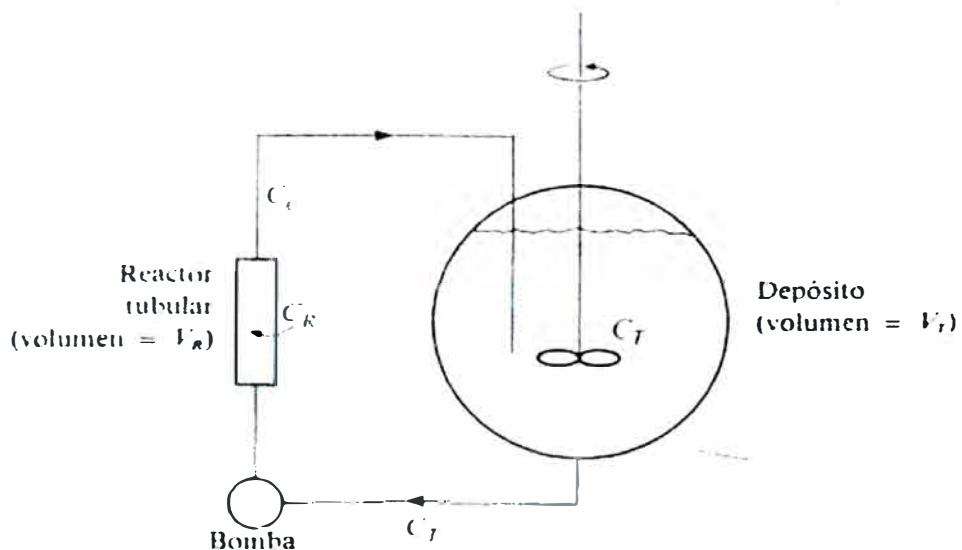


FIGURA 36. Reactor Intermitente con recirculación

Realizando las siguientes consideraciones:

- Volumen de las líneas de conexión y de la bomba son insignificantes.
- La reacción solo se da en el reactor.
- Existe un buen mezclado en el tanque C_t .

La velocidad de producción de oro en la solución de desorción puede ser definida como: $\int r_i dV_r$

Y considerando el principio de conservación para cualquier reactor como:

$$\begin{aligned} & \left\{ \text{Velocidad de alimentación de } i \text{ al elemento de volumen} \right\} - \\ & \left\{ \text{Velocidad de salida de } i \text{ del elemento de volumen} \right\} + \\ & \left\{ \text{Velocidad de producción de } i \text{ en el elemento de volumen} \right\} = \\ & \left\{ \text{Velocidad de acumulación de } i \text{ en el elemento de volumen} \right\} \end{aligned}$$

Entonces el sistema puede ser definido como :

$$\int_0^{V_r} r dV_r = V_r dC_r/dt + V_t dC_t/dt \quad (1)$$

Como se consideran soluciones en concentración de ppm, asumiendo que $C_r \approx C_t$, la ecuación anterior se reduce a:

$$r = [(V_r + V_t) / V_r] dC_t/dt \quad (2)$$

Para la condición de planta tenemos que:

$$V_r = 17.20 \text{ m}^3$$

$$V_t = 40 \text{ m}^3$$

$$Q = 18 \text{ m}^3/\text{h} = 0,3 \text{ m}^3/\text{min}$$

La siguiente gráfica muestra la relación de la ley de oro en la solución de desorción en función del tiempo,

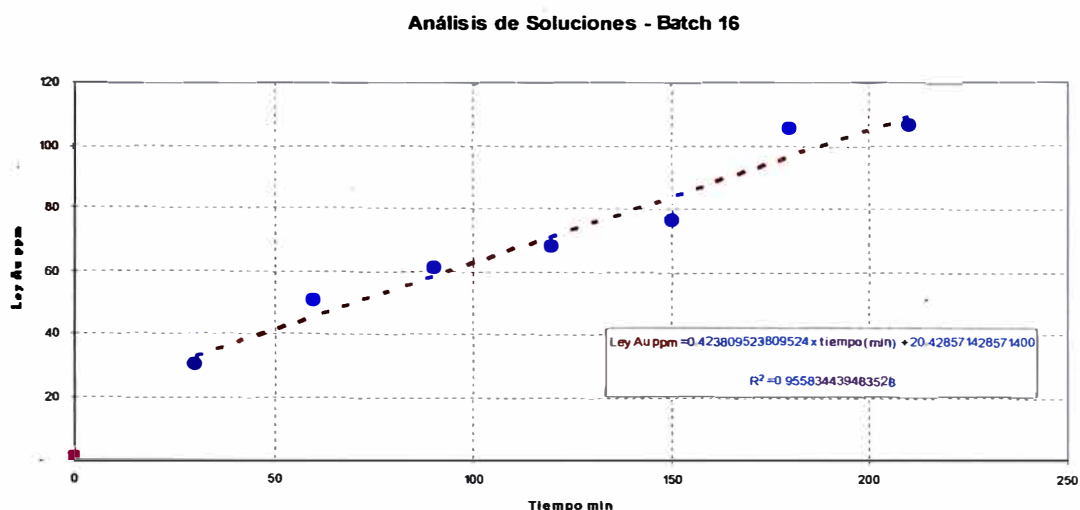


FIGURA 37. Cinética del carbón fino dCt/dt

Del análisis de regresión lineal tenemos:

$$\text{Ley Au ppm} = 0.4238 \times \text{tiempo (min)} + 20.429$$

$$R^2 = 0.956$$

Reemplazando en la ecuación (b), tenemos que la cinética de desorción fino a 130 °C queda definida como:

$$r = 0.61 \text{ ppm Au / min}$$

3.7.3 DEFINICION DE LA CANTIDAD DE CARBON FINO POR LOTE DE DESORCION

La cantidad de carbón fino por lote fue definida en 4 a 4,5 toneladas de carbón, en este caso se tuvo en consideración el flujo de recirculación, la relación L (altura) / D (diámetro) de la columna de desorción, densidad del carbón, porcentaje de expansión de la cama de carbón).

Los datos de la columna son:

$$L = 8,20 \text{ m}; D = 1,83 \text{ m}; V = 17,20 \text{ m}^3$$

Para un flujo de 18 m³/hr, tenemos que la velocidad superficial dentro de la columna es de:

$$V_s = 0,11 \text{ m/min}$$

Del análisis granulométrico tenemos que cerca del 75 % del carbón fino es malla – 100 mesh, por lo que la expansión podría quedar definida entre 50 a 60 % de acuerdo a la siguiente gráfica (en función de la granulometría del carbón fino).

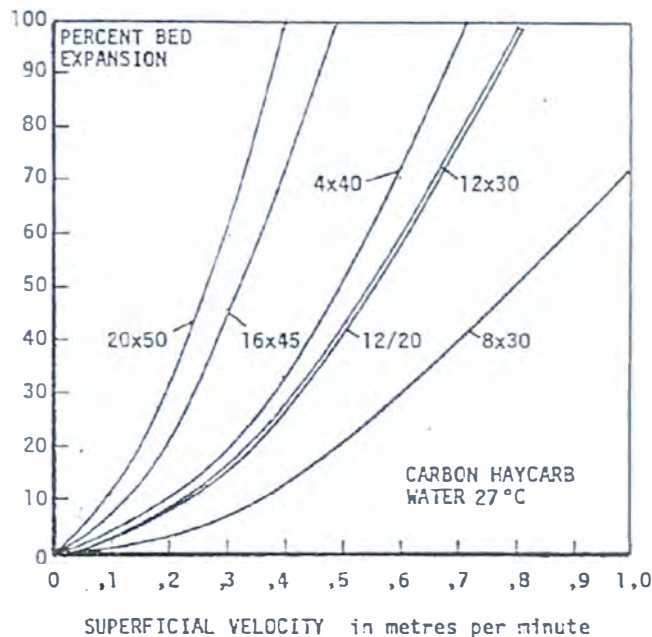


FIGURA 38. Porcentaje de expansión del lecho de carbón fino en función de la velocidad superficial.

La densidad del carbón fino (todo el carbón que se procesa en las plantas de Minera Yanacocha SRL son fabricados de cáscara de coco) es de aproximadamente $0,6 \text{ t/m}^3$.

Con lo cual del volumen total de la columna ($V = 17,20 \text{ m}^3$), solamente el 12 m^3 serán ocupados por la cama de carbón fino ($7,5 \text{ m}^3$ por el carbón, además de $4,5 \text{ m}^3$ por el efecto de la expansión).

Esto tiene relación con el saturamiento de los filtros instalados a la salida de la columna de desorción (básicamente el 15 % de carbón fino de malla menos 100 mesh).

Las columnas de desorción donde se realiza el proceso Zadra, deben de tener una relación entre la altura (L) y el diámetro (D) a fin de minimizar los tiempos de desorción.

En la siguiente tabla se presentan algunas relaciones de esta relación:

INSTALLED	CARBON BATCH	COLUMN LENGTH mm	COLUMN DIAMETER mm	L : D RATIO
BEATRIX	9,0	7250	2000	3,5
GROOTVLEI	5,0	8000	1625	4,9
KINROSS	9,0	7250	1665	4,4
ST HELENA	5,0	4460	2000	2,2
VAAL REEFS 8 SHAFT	12,0	9000	2200	4,1
VAAL REEFS 9 SHAFT	7,0	7767	1800	4,3

TABLA 15. Geometría de columnas de desorción Método Zadra

La columna instalada en Planta Procesos Yanacocha Norte tiene un ratio L / D de 4,48; lo cual esta dentro del rango del diseño original del Método Zadra.

Por lo que de acuerdo a los cálculos presentados, una columna con las siguientes dimensiones de L = 8,20 m; D = 1,83 m es muy apropiada para la desorción de carbón fino a un flujo de 18 m³/h de recirculación.

3.7.4 MATERIALES DE CONSTRUCCION DE LA COLUMNA DE DESORCION

La selección del material para la construcción de la columna de desorción esta asociada a la corrosión y a la precipitación de oro metálico.

La información disponible para la precipitación del oro metálico se puede resumir en el siguiente diagrama de Pourbaix:

POURBAIX DIAGRAM FOR THE SYSTEM AU-CN-H₂O AT 25°C

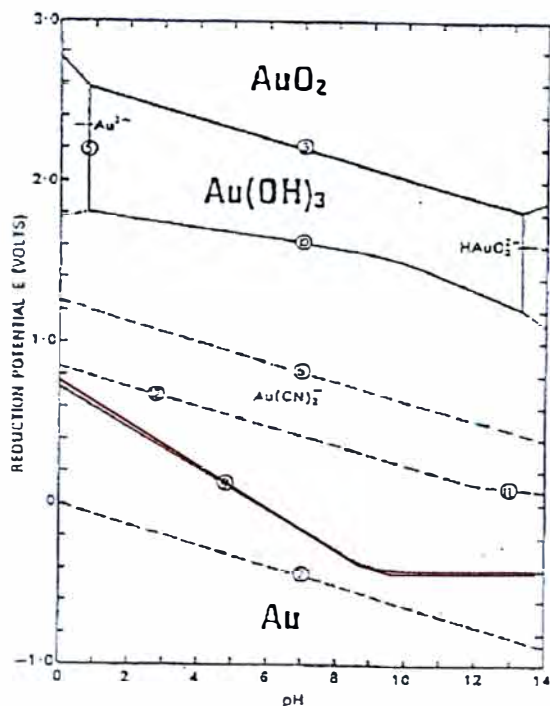


FIGURA 39. Diagrama de Pourbaix Au - CN - H₂O a 25 ° C

La precipitación de oro es dada por la línea roja sombreada, para un pH de 12 a 13, se tiene un potencial de reducción de -0,4 voltios aprox.

Un estudio sobre la polarización potenciodinamica para el acero al carbono in soluciones de desorción de oro dieron un ciclo anódico entre -480 y -600 mV. Tres posibles potenciales de corrosión existen en el sistema con precipitación de oro. En una solución con 4 % de NaOH no se observo ningún ciclo anódico.

FIGURE 5. POTENTIODYNAMIC POLARIZATION CURVE FOR LOW CARBON STEEL AT 80°C AND A POTENTIAL SCAN OF 1mV PER SECOND.

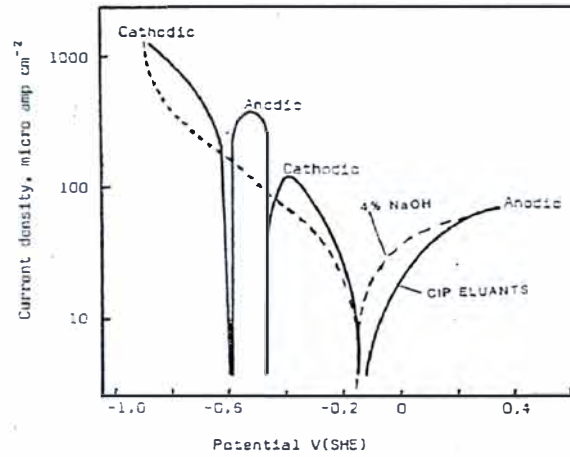


FIGURA 40. Curva de Polarización para acero al carbono

En el caso de acero inoxidable no se obtuvo ningún ciclo anódico, y la actividad anódica fue ligeramente menor que la del acero al carbono.

FIGURE 6. POTENTIODYNAMIC POLARIZATION CURVE FOR 304 STAINLESS STEEL IN CIP ELUATE AT 80°C AND A POTENTIAL SCAN RATE OF 1 mV PER SECOND

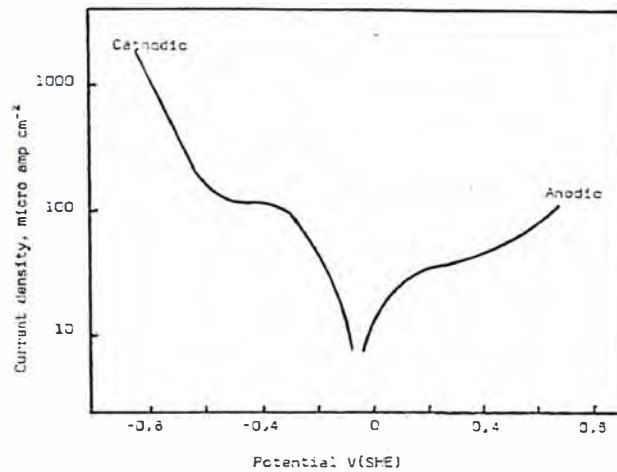


FIGURA 41. Curva de Polarización para acero inoxidable 304

Por lo analizado anteriormente el material de la columna de desorción debe de ser de acero inoxidable, tal cual son en Minera Yanacocha.

3.7.5 DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El diagrama del proceso de desorción, tal como se describió en el capítulo anterior puede ser resumido en el siguiente gráfico.

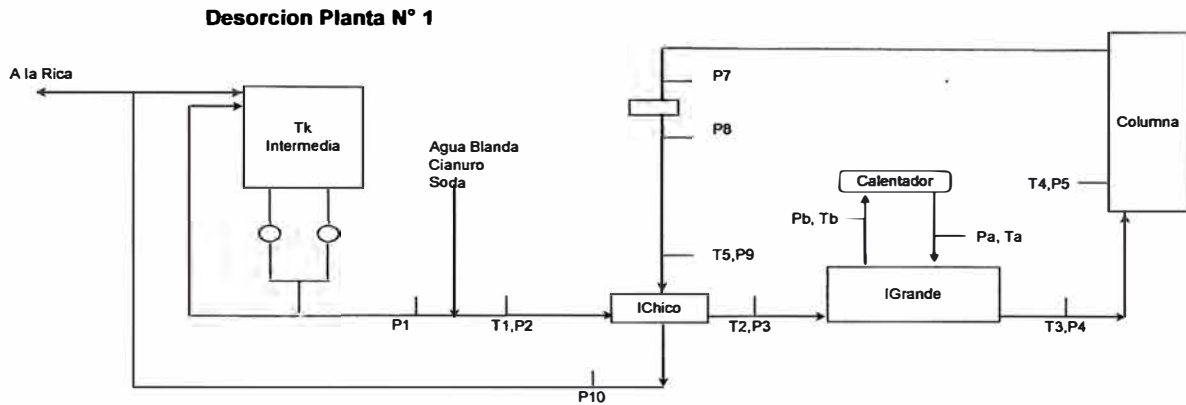


FIGURA 42. Circuito de desorción

Habiéndose definido el flujo de recirculación de la solución de desorción, así como la temperatura en el proceso de desorción, se requiere diseñar el sistema de calentamiento de la solución de desorción. Para este caso nos hemos basado en el actual arreglo de intercambiadores de calor de planta, es decir dos intercambiadores de calor de placas (solución de desorción-aceite y solución de desorción-solución de desorción), esto básicamente por la facilidad en la limpieza de los intercambiadores de calor cuando la solución de desorción presenta carbón fino y/o carbonatos que ensucian las placas de transferencia de calor.

Para este diseño se desarrollo un modelo matemático a fin de calcular el número de placas de cada intercambiador, el flujo requerido de aceite de calentamiento, calor intercambiado en el intercambiador grande, intercambiador chico, requerimiento de diesel, composición de gases a la salida de la chimenea, etc.

El modelo se inicia con el cálculo del intercambiador grande, con los resultados obtenidos se calcula el intercambiador de placas chicas, y luego el calentador de aceite. A continuación se presenta el modelo.

a) Datos de ingreso del modelo:

DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE PLACAS GRANDES	
Datos de solución de strip	
Flujo	18 m ³ /hr
Densidad	1,030 Kg/m ³
Flujo masico	18,540 Kg/hr
Temperatura in	110 C
Temperatura out	130 C
Calor especifico	4.141 KJ/Kg. K
Conductividad termica	0.496 W/m. K
Conductividad termica (SI)	1.786 KJ / m.hr.K
Viscosidad dinamica	1.043 cP
Viscosidad dinamica (SI)	0.349 Kg/h.m
Datos de aceite Mobiltherm	
Flujo	142 m ³ /hr
Densidad	790 Kg/m ³
Flujo masico	112,145 Kg/hr
Temperatura in	140 C
Temperatura out	134 C
Calor especifico	2.282 KJ/Kg. K
Conductividad termica	0.127 W/m. K
Conductividad termica (SI)	0.457 KJ / m.hr.K
Viscosidad dinamica	2.245 cP
Viscosidad dinamica (SI)	0.751 Kg/h m
Datos de las placas 316 SS	
Espesor de las placas	0.55 mm
	0.00055 m
Profundidad corrugacion	0.5 mm
	0.0005 m
Conductividad termica	73.00 W/m K
Conductividad termica (SI)	262.87 KJ / m.hr.K
Area de transferencia por placa	0.51 m ²

b) Ecuaciones de diseño:

ECUACIONES DE MODELAMIENTO Y DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS

Flujo de Calor transferido

$$Q = m \times Cp \times (\Delta) T \quad (1)$$

Q = Flujo de calor

m = Flujo masico

Cp = Capacidad calorifica del fluido

(Δ) T = Diferencias de temperatura

Coefficiente Global de transferencia de calor

$$Q = N \times U_o \times A_o \times (\Delta) T_{ML} \quad (2)$$

Donde :

N = Numero de placas

A_o = Superficie de transferencia de calor de una placa,

tal que 2A_o es el area existente en un canal formado con dos placas

U_o = Coeficiente global de transferencia de calor

(Δ) T_{ML} = Diferencia de temperaturas media logaritmica

$$(\Delta) T_{ML} = ((T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)) / \ln ((T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)) \quad \dots\dots\dots (a)$$

Coefficiente Global de transferencia de calor

$$U_o = \frac{1}{1/h_i + f_i + x/k + f_o + 1/h_o} \quad (3)$$

Donde :

x = espesor de la placa

k = conductividad termica de las placas

f_i, f_o = factores de obstruccion por incrustaciones

h_i, h_o = coeficientes de pelicula de transferencia de calor

Numero adimensional de Nusselt

$$Nu = h \times De / k \quad (4)$$

$$Nu = 0.28 \times (Re)^{0.65} \times (Pr)^{0.4} \quad (5)$$

Constante 0.28

Donde :

h = coeficiente de pelicula de transferencia de calor

k = conductividad termica de las placas

De = 2 x profundidad de corrugacion = Diametro equivalente

Re = Numero adimensional de Reynolds

Pr = Numero adimensional de Prandtl

Numero adimensional de Reynolds

$$Re = m \times De / u \quad (6)$$

Donde :

m = Flujo masico

De = 2 x profundidad de corrugacion = Diametro equivalente

u = viscosidad

Numero adimensional de Prandtl

$$Pr = c \times u / k \quad (7)$$

Donde :

c = calor especifico

u = viscosidad

k_i = conductividad termica del fluido

c) Resultados del modelo:

CALCULOS y RESULTADOS			
LADO DE SOLUCION DE DESORCION			
Pr =	0.81	adimensional	ecuacion 7
Re =	53.16	adimensional	ecuacion 6
Nu =	3.40	adimensional	ecuacion 5
h _i =	6,078	KJ / m ² .hr.K	ecuacion 4
LADO DE ACEITE MOBILTHERM			
Pr =	3.75	adimensional	ecuacion 7
Re =	149.39	adimensional	ecuacion 6
Nu =	12.30	adimensional	ecuacion 5
h _o =	5,625	KJ / m ² .hr.K	ecuacion 4
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA			
1/ h _i =	0.00016	m ² .hr.K / KJ	
1/ h _o =	0.00018	m ² .hr.K / KJ	
x / k =	0.00000	m ² .hr.K / KJ	
U _o =	2,904	KJ / m ² .hr.K	ecuacion 3
f _i , f _o se asumen como cero, debido a la limpieza periodica de las placas			
DIFERENCIA MEDIA LOGARITMICA DE TEMPERATURAS			
T cal aceite - T sal sol	24.00	C	
T fria aceite - T in sol	10.00	C	
() T _{ML}	15.99	C	ecuacion a
CALOR TOTAL DE TRANSFERENCIA			
Q =	1,535,482.80	KJ / hr	ecuacion 1
NUMERO DE PLACAS			
N =	65	numero de placas	
FLUJO MASICO DEL ACEITE			
m aceite =	112,144.52	kg / hr	
CALOR TOTAL DE TRANSFERENCIA			
Q =	1,535,482.80	KJ / hr	
NTU	1.88		

Con lo que el intercambiador de calor queda definido por 65 placas de 0,51 m², con un flujo de aceite requerido de 112,145 kg/h, con un valor de NTU cercano a 2.

El modelo fue validado para la condición actual de operación así como los balances del diseño del intercambiador de calor.

Siguiendo el mismo procedimiento se realiza el modelamiento del intercambiador de calor de placas chicas, obteniéndose:

CALOR TOTAL DE TRANSFERENCIA		
Q =	3.125.102,40 KJ / hr	ecuacion 1
NUMERO DE PLACAS		
N =	33 numero de placas	
NTU	1,00	

Con lo que el intercambiador de calor queda definido por 33 placas de 0,25 m², con un flujo de recirculación de 18 m³/h, con un valor de NTU de 1.

El modelo fue validado para la condición actual de operación así como los balances del diseño del intercambiador de calor.

Con los intercambiadores de calor definidos, ahora pasamos a definir el calentador de aceite (tal como se mencionó en el capítulo anterior, este calentador de aceite opera con diesel, y el calor producido de la combustión del diesel se calienta el aceite mobiltherm para el calentamiento del intercambiador de placas grande).

El modelo está entrelazado con el cálculo de los intercambiadores de calor (puesto que el diseño de los intercambiadores de calor definen el flujo de aceite, así como la temperatura deseada del aceite), el objetivo de este modelo es obtener la cantidad de diesel requerida, para esto es necesario realizar el balance de gases en función de la composición del diesel (así como la cantidad).

a) Datos de ingreso:

DISEÑO DE CALENTADOR DE ACEITE		
Datos de aceite Mobiltherm		
Flujo	142	m ³ /hr
Densidad	790	Kg/m ³
Flujo masico	112,145	Kg/hr
Temperatura in	140	C
Temperatura out	134	C
Calor especifico	2.282	KJ/Kg. K
Conductividad termica	0.127	W/m. K
Conductividad termica (SI)	0.457	KJ / m.hr.K
Viscosidad dinamica	2.245	cP
Viscosidad dinamica (SI)	0.751	Kg/h m
Datos del D2		
Generacion de calor (vol)	138,335	KJ / gal
Generacion de calor (peso)	31,435	KJ / kg
Diesel requerido	112	Kg
Composicion		
	% Peso	
C	87.3%	
H	12.6%	
O	0.04%	
N	0.01%	
S	0.02%	
Cenizas	<0.01	
C/H ratio	6.93	
API °	33	
Densidad	1.16	kg/lt
	4.40	kg/gal

b) Balance de gases

Reacciones en la combustion			
	C	O ₂	CO ₂
	12	32	44
	97	260	357
	2H	O ₂	H ₂ O
	2	31.998	33.998
	14	225	239
	S	O ₂	S ₂ O
	32.00	32.00	64.00
	0.02	0.02	0.05
Oxigeno total requerido			
O ₂ req		485 Kg	
Composicion volumetrica del aire a 4,000 msnm			
	19% O ₂		
	81% N ₂		
Composicion en peso del aire a 4,000 msnm			
	21% O ₂		
	79% N ₂		
Exceso de aire		10%	
Temperatura del aire		10 C	
Temperatura de gases (act oper		300 C	
Requerimiento de aire			
O ₂		534	21.13
N ₂		1,991	78.87
Total		2,525	100.00
Composicion de gases de salida			
O ₂		49	1.84
N ₂		1,991	75.53
CO ₂		357	13.56
H ₂ O		239	9.07
SO ₂		0.05	0.00
Total		2,637	100.00
Temperatura de gases		200 C	
CALOR REQUERIDO POR EL ACEITE MOBILTHERM			
Q =		1,535,483	KJ / hr

Como resultado del modelo anterior, tenemos el balance de energía en el calentador de aceite:


 BALANCE DE ENERGIA CALENTADOR DE ACEITE - PLANTA YANACUCHA NORTE				
ENTRADA			SALIDA	
1. SOLUCIONES / FLUIDOS			Temper.	Calor
			° K	KJoule
Elementos / Compuestos				27,894,604
Aceite Mobiltherm	112,145 Kg / hr	407		27,894,604
2. COMBUSTION				
Elementos / Compuestos				(38,467)
Aire comb O2	533.57 Kg / hr	283		(7,366)
Aire comb N2	1,991.49 Kg / hr	283		(31,091)
Diesel	111.67 Kg / hr	298		-
3. GENERACION DE CALOR				3,703,367
Elementos / Compuestos				
Combustión Diesel	31,435 KJ / kg			3,703,367
TOTAL ENTRADA				31,559,514 KJ
1. SOLUCIONES / REACTIVOS			Temper.	Calor
			° K	KJoule
Elementos / Compuestos				29,430,087
Aceite Mobiltherm	112,145 Kg / hr	413		29,430,087
2. COMBUSTION				
Elementos / Compuestos				821,166
Aire comb O2	48.51 Kg / hr	573		12,969
Aire comb N2	1,991.49 Kg / hr	573		578,056
Aire comb CO2	357.42 Kg / hr	573		99,569
Aire comb H2O	239.17 Kg / hr	573		130,558
Aire comb SO2	0.05 Kg / hr	573		14
3. PERDIDAS DE CALOR				1,308,261
Elementos / Compuestos				
Calentador de aceite + chimenea				1,308,261
TOTAL ENTRADA				31,559,514 KJ

TABLA 16. Balance de energía del calentador de aceite

Donde las pérdidas de calor fueron estimadas según las siguientes ecuaciones (tanto para el área del calentador de aceite como para la chimenea de salida de gases):

$$H_c = 0,29 \times \Delta T^{0,25} \quad (3)$$

$$\Delta T = T_c - T_a \quad (4)$$

Donde:

T_c = Temperatura del casco

T_a = Temperatura ambiente

$$H_r = 0,00692 \times ea \times \left(\frac{T_p}{100} \right)^3 \quad (5)$$

Donde:

$$T_p = \left(\frac{T_c + T_a}{2} \right) \text{ en } ^\circ R$$

$ea = 0,95$ (emisividad de la plancha de acero)

El balance de energía para los intercambiadores de placas grandes y chicas quedan definidos de la siguiente manera:



 BALANCE DE ENERGIA INTERCAMBIADOR DE PLACAS GRANDES					
ENTRADA			SALIDA		
1. SOLUCIONES / FLUIDOS		Temper. ° K	Calor KJoule		
Elementos / Compuestos			35,966,889		
Acete Mobiltherm	112,145 Kg / hr	413	29,430,087		
Solucion de elucion	18,540 Kg / hr	383	6,525,802		
TOTAL ENTRADA			35,966,889 KJ		
1. SOLUCIONES / FLUIDOS		Temper. ° K	Calor KJoule		
Elementos / Compuestos			35,966,889		
Acete Mobiltherm	112,145 Kg/hr	407	27,894,604		
Solucion de elucion	18,540 Kg/hr	403	8,061,285		
TOTAL ENTRADA			35,966,889 KJ		

TABLA 17. Balance de energía del intercambiador de calor de placas grandes

 BALANCE DE ENERGIA INTERCAMBIADOR DE PLACAS CHICAS				
ENTRADA				
1. SOLUCIONES / FLUIDOS			Temper.	Calor
			° K	KJoule
Elementos / Compuestos				11,719,134
Solucion de elucion fresca	18,540	Kg/hr	343	3,515,740
Solucion de recirculacion	18,540	Kg/hr	403	8,203,394
TOTAL ENTRADA				11,719,134 KJ

ALIDA				
1. SOLUCIONES / FLUIDOS			Temper.	Calor
			° K	KJoule
Elementos / Compuestos				11,719,134
Solucion de elucion fresca	18,540	Kg/hr	383	6,640,843
Solucion de recirculacion	18,540	Kg/hr	363	5,078,291
TOTAL ENTRADA				11,719,134 KJ

TABLA 18. Balance de energía del intercambiador de placas chicas

3.7.6 DISEÑO DE LOS EQUIPOS AUXILIARES

a) Bomba para la recirculación del aceite mobiltherm

La caída de presión para un intercambiador de placas esta dada por la siguiente ecuación:

$$DP = \frac{2 \times f \times G^2}{g \times d \times De} \quad (6)$$

donde:

$$f = 2.5 \times (G \times De / u)^{-0.3} \quad (7)$$

g : constante gravitacional (1 kg m / N s²)

De : diámetro equivalente (definido en el modelo de intercambiadores de placas grandes)

L : Longitud de armada (espesor de placas x número de placas + espesor de jebe x número de placas)

d : densidad del fluido

G : Flujo másico

u : Viscosidad

Con lo que tenemos que $f = 4,12$; y la caída de presión sería 0,6802 atm, equivalente a 69 kPa (que coincide con los 70 kPa que tenemos en planta).

Este diferencial de presión equivale a cerca de 7 m de cabeza para la selección de la bomba.

Para la selección de la bomba tendríamos los siguientes parámetros:

H : 15 m (considerando un factor de exceso de los 7 m, además de pérdidas en tuberías y capacidad de tratamiento mayor a futuro).

Flujo : 130 - 180 m³/h de aceite (el cálculo indica un flujo de 142 m³/h)

En la siguiente gráfica determinaremos el tipo de bomba, la eficiencia, la potencia y el NPSH de la bomba.

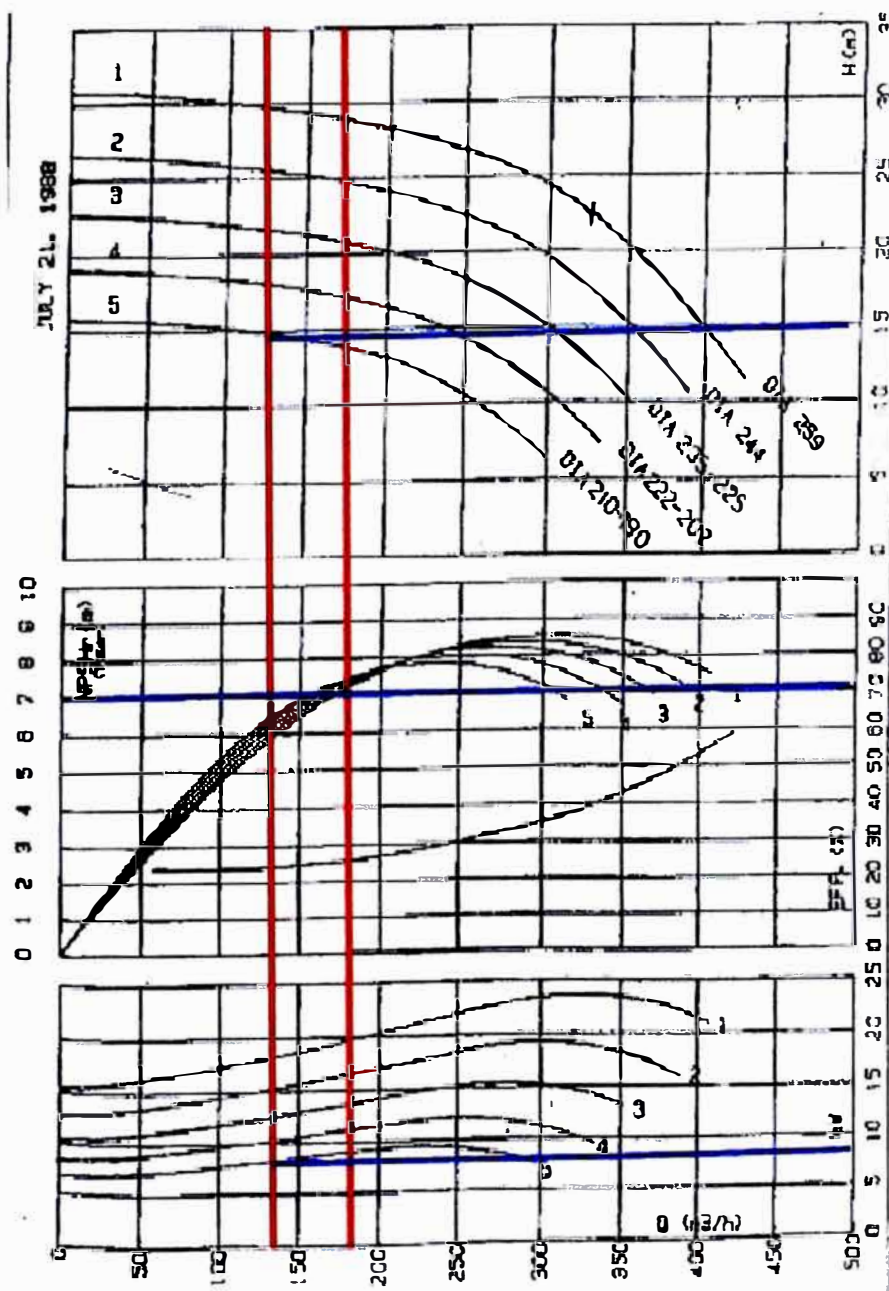


FIGURA 43. Gráficas para selección de bombas para aceites térmicos

Con lo que la bomba seleccionada tendría que requerir cerca de 10 kW, además tendría un NPSH de 7 m, con una eficiencia de 70 %.

De acuerdo al tipo de fluido y arreglo de planta la bomba sería una centrífuga horizontal para aceites (la gráfica corresponde a la serie HCD de la empresa Zinder Pompe s.p.a.).

b) Equipos de filtración

De acuerdo al análisis granulométrico y al diseño de la columna, todo el material – malla 100 mesh estaría pasando a través de la parte superior de la columna.

La malla 200 mesh equivale a una abertura de malla de 74 micras, a fin de no tener problemas con los intercambiadores se seleccionó un material filtrante de 1 micra.

Las condiciones para la filtración serán las que se dan en la columna de desorción, es decir 130 °C y a 310 kPa.

El tipo de filtro seleccionado fue del tipo bolsa, a continuación se adjunta el gráfico de cómo ocurre la filtración en este tipo de filtro.

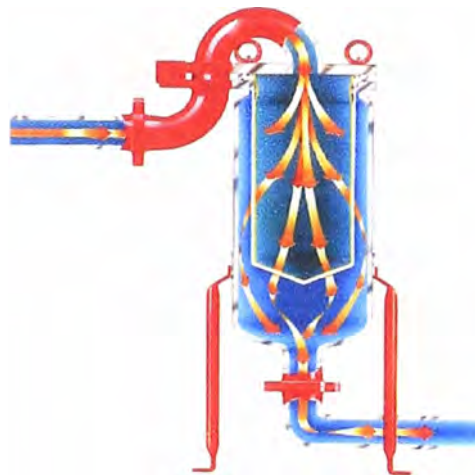


FIGURA 44. Filtración tipo bolsa

De acuerdo a las especificaciones de filtración en bolsa de la siguiente tabla, se determinó que la mejor selección sería el modelo RBI ASL/D

FILTROS SIMPLE (PARA UNA BOLSA)								
Modelo	Caudal (m ³ /h @10CF ¹)	Área Filtrante m ²	Presión de Proyecto (kg/cm ²)	Temperatura Proyecto (°C)	Entrada/ Salida (pulgadas)	Tipo Conexión	Material de Construcción	O rings
RBX A/AS	6	0.09	5.5	150	1"	ROSCA	CS 316L	6-195
RBX AL/ASL	12	0.16	5.5	150	1 1/4"	ROSCA	CS 316L	6-195
RBX AHD / ASHD	6	0.09	21	150	1"	ROSCA	CS 316L	354
RBX ALHD / ASLHD	12	0.16	21	150	1 1/4"	ROSCA	CS 316L	354
REX PN	6	0.09	5.4	100	1"	BRIDA	Polipropileno	84192 + 84193 + 84195
REX PLN	12	0.16	5.4	100	1 1/4"	BRIDA	Polipropileno	84192 + 84193 + 84195
RB1 AS/LO	18	0.26	6	150	2"	ROSCA	316L	204-10 + 2-252
RB1 AS/LO	36	0.49	6	150	2"	ROSCA	316L	204-10 + 2-252
RB1 PN	18	0.26	5.4	100	2"	BRIDA	Polipropileno	84190 + 84191 + 84194
RB1 PLN	36	0.49	5.4	100	2 1/2"	BRIDA	Polipropileno	84190 + 84191 + 84194

TABLA 19. Especificaciones para filtración en bolsa

En donde deberíamos tener un caudal máximo de 36 m³/h, con un área filtrante de 0,49 m², para una temperatura de 150 °C.

El material de la bolsa seleccionada por cuestión de costos fue de polipropileno de una micra.

CAPITULO IV

MÉTODOS ALTERNATIVOS DE TRATAMIENTO

Otros métodos que pueden ser utilizados para recuperar el oro del carbón fino generado en la planta de columnas de carbón activado de Yanacocha Norte son los siguientes:

4.1 LIXIVIACIÓN O FUSIÓN DE CALCINAS

A principios del año 2005, el área de Investigaciones Metalúrgicas llevó a cabo pruebas de calcinación. Para ello, se formaron compósitos tal como se anota en la Tabla 20.

Compósito #	Au kg/t	Ag kg/t	Hg g/t	Humedad %
1	0,431	0,151	471,26	53,90
2	0,531	0,307	450,14	49,71
3	0,495	0,227	432,25	52,97
4	0,547	0,271	467,22	53,06

TABLA 20. Análisis de carbón fino

Las pruebas consideraban tres etapas:

4.1.1 RETORTEO

Esta operación tiene como objetivo eliminar la humedad y el mercurio contenidos en el carbón fino. Las temperaturas utilizadas en esta etapa fueron de 200 °C y 600 °C respectivamente, tal como se muestra en el gráfico adjunto.

Como resultado, se logró eliminar el 99,50 % de la humedad contenida y una remoción del 99,60 % de mercurio.

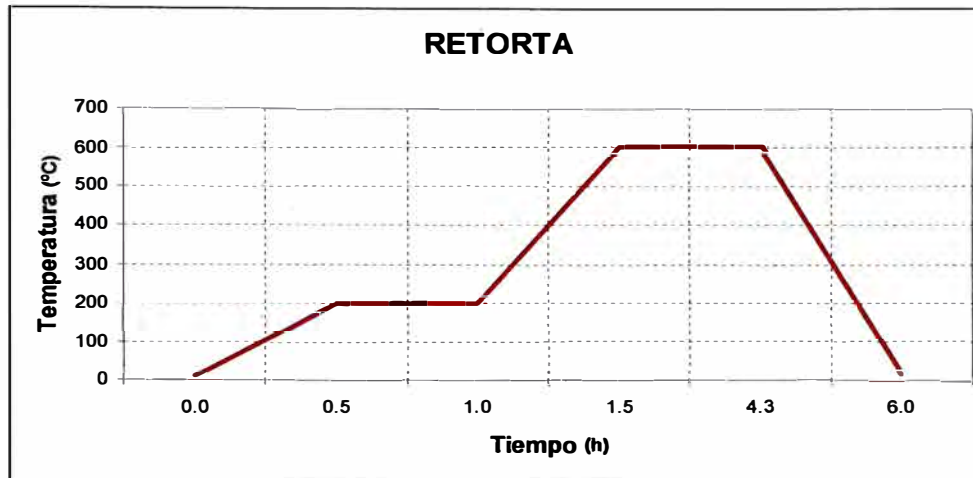


FIGURA 45. Temperatura programada en la etapa de retorteo

4.1.2 CALCINACIÓN

Esta etapa fue realizada a una temperatura de 600 °C durante un tiempo de 6 horas, perdiéndose más del 50% del peso inicial de carbón.

Compósito #	Pérdida de peso %
1	51,60
2	56,30
3	51,30
4	53,50

TABLA 21. Resultados de la etapa de calcinación

Terminado este proceso, las calcinas pasaron a la etapa de lixiviación.

4.1.3 LIXIVIACIÓN O FUSIÓN

La calcinas obtenidas fueron lixiviadas en vasos a 1000 mg/l de concentración de CN^- , durante 48 horas y a una relación L/S de 20/1. Durante las pruebas de lixiviación no se utilizó cal porque

estas calcinas contenían suficiente alcalinidad ($\text{pH} > 12$) y por la alta concentración de cianuro.

El consumo promedio de cianuro de sodio fue de 11,1 kg/t y la extracción promedio de oro y plata fue de 98,20 % y 41,10 % respectivamente.

Compósito #	Recuperación Au %
1	97,60
2	97,00
3	99,00
4	99,10

TABLA 22. Resultados de la etapa de lixiviación

Como un proceso alternativo a la lixiviación de las calcinas se tiene la fusión de éstas en los hornos de la Fundición de la planta de procesos de Yanacocha Norte, donde se recuperarían los metales preciosos y la calcina se eliminaría por completo.

Esta alternativa de lixiviación o fusión de calcinas tiene como desventajas:

- Disponibilidad de retortas, actualmente estos equipos son utilizados a tiempo completo por la Refinería de Yanacocha Norte. Se requeriría invertir en una retorta adicional así como en la infraestructura necesaria para su operación.
- Horno de calcinación, Minera Yanacocha no cuenta con este equipo indispensable para la operatividad de este método alternativo. Deberá tenerse en cuenta la inversión requerida y el personal que se necesita para su operación.

4.2 TRANSFERENCIA DE ORO DEL CARBÓN FINO

En base al trabajo presentado por E. M. Hill y H. K. Lin (R05) se realizó en la planta de Columnas de Carbón de La Quinua la transferencia de oro del carbón fino al carbón virgen. A continuación se describirá esta alternativa.

La atricción del carbón virgen es necesaria para remover las partículas finas de carbón antes que el carbón virgen ingrese al circuito de adsorción. Esta atricción es llevada a cabo en un tanque de mezcla. El carbón fino fue agregado al tanque de mezcla y el oro contenido en éste fue transferido al carbón virgen. Los resultados mostraron una efectiva transferencia de oro del carbón fino al carbón virgen con una recuperación de 82,95 % y un proceso de transferencia de oro de 2 etapas.

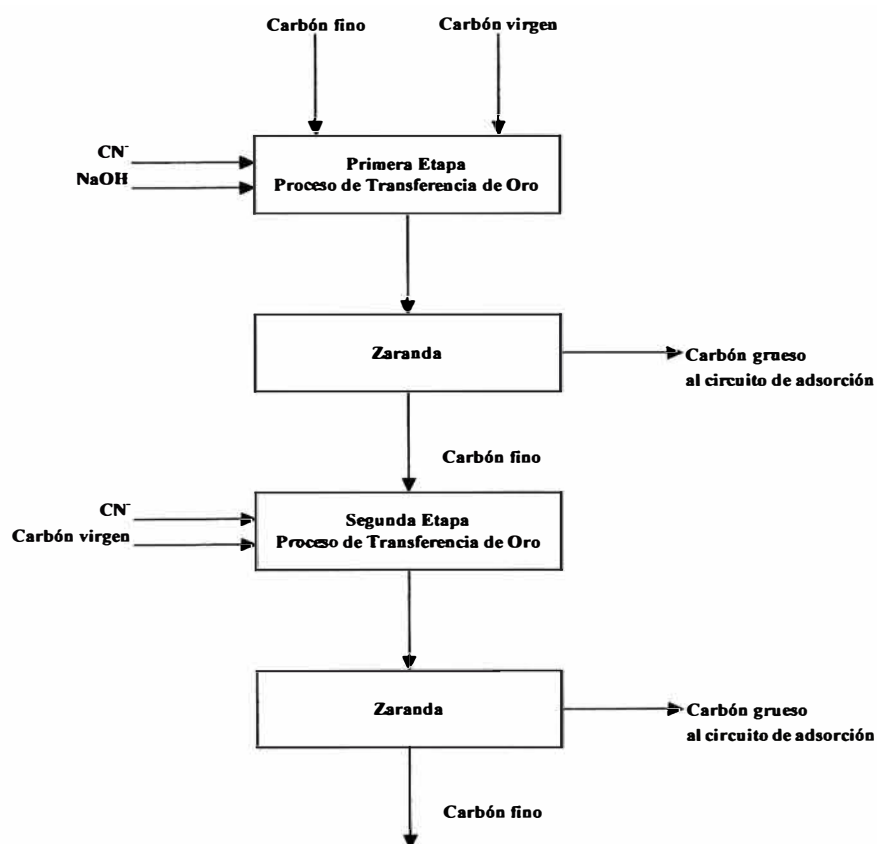


FIGURA 46. Diagrama esquemático del proceso de transferencia de oro

La muestra de carbón fino utilizada contenía 2,54 kg de oro por tonelada. Durante la prueba se mantuvo un porcentaje de sólidos de 30 %; el ratio de carbón virgen a carbón fino fue de 4:1; una velocidad de rotación de 45 RPM; un pH inicial de 12,5 ajustado con soda cáustica; una concentración inicial de cianuro de 1,0 %; y una temperatura de 15 °C.

La transferencia de oro fue realizada con éxito. Sin embargo, El alto ratio de carbón virgen a carbón fino limita la capacidad de procesar todo el carbón fino generado en la planta. Además, el contenido de oro en el carbón fino remanente es aún alto (0,36 Au kg/t de carbón) y todavía queda la pregunta de qué hacer con el carbón fino y su alto contenido de mercurio.

4.3 VENTA A TERCEROS

La tercera alternativa propuesta es la de vender el carbón fino a alguna compañía dedicada a procesar residuos resultantes de la industria minera y metalúrgica.

Inicialmente el carbón fino fue ofrecido a algunas fundiciones de cobre nacionales que podrían utilizar este material para generar un ambiente reductor y disminuir la pérdida de valores en la escoria, pero por diversos motivos esta gestión no prosperó.

Finalmente se ha recibido una propuesta de una empresa extranjera para la compra del carbón fino. Los términos contractuales de esta propuesta serán analizados en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL MÉTODO PROPUESTO

En este capítulo se realizará la comparación económica del método propuesto con respecto a la instalación de una retorta adicional (tal como se describió en el capítulo anterior) para el tratamiento del carbón fino.

En ambos casos el horizonte del proyecto considera hasta el año 2012, año en que según el último plan de producción de MYSRL la planta de Columnas de Carbón de YN saldrá fuera de operación.

5.1 ASUNCIONES GENERALES

5.1.1 PRECIO INTERNACIONAL DEL ORO

Uno de los puntos vitales de la evaluación de este proyecto es la definición del precio internacional del oro a fin de la evaluación de los ingresos.

En la Figura 47 vemos cuales han sido los valores del precio internacional del oro desde el año 1995 hasta noviembre del año 2005.

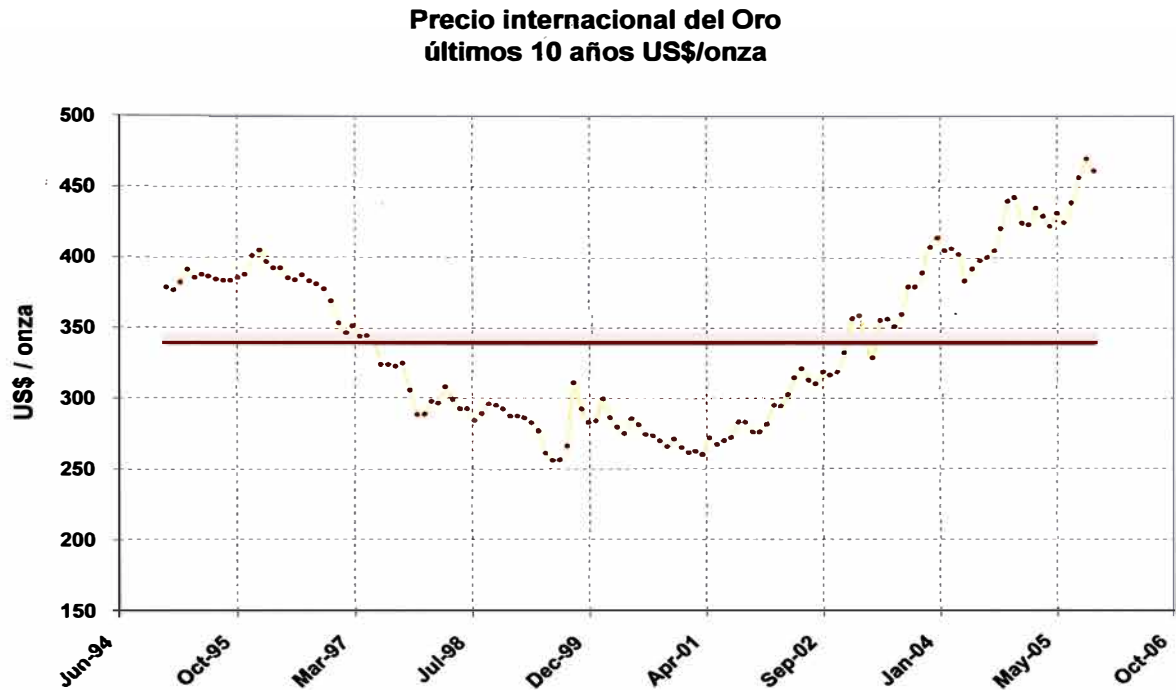


FIGURA 47. Precio internacional del oro en los últimos 10 años

En los últimos diez años, el precio del oro ha oscilado entre 250 y cerca de 500 US\$ por onza.

En la Figura 48 vemos cuales han sido los valores del precio internacional del oro desde el año 1900 hasta el año 2005.

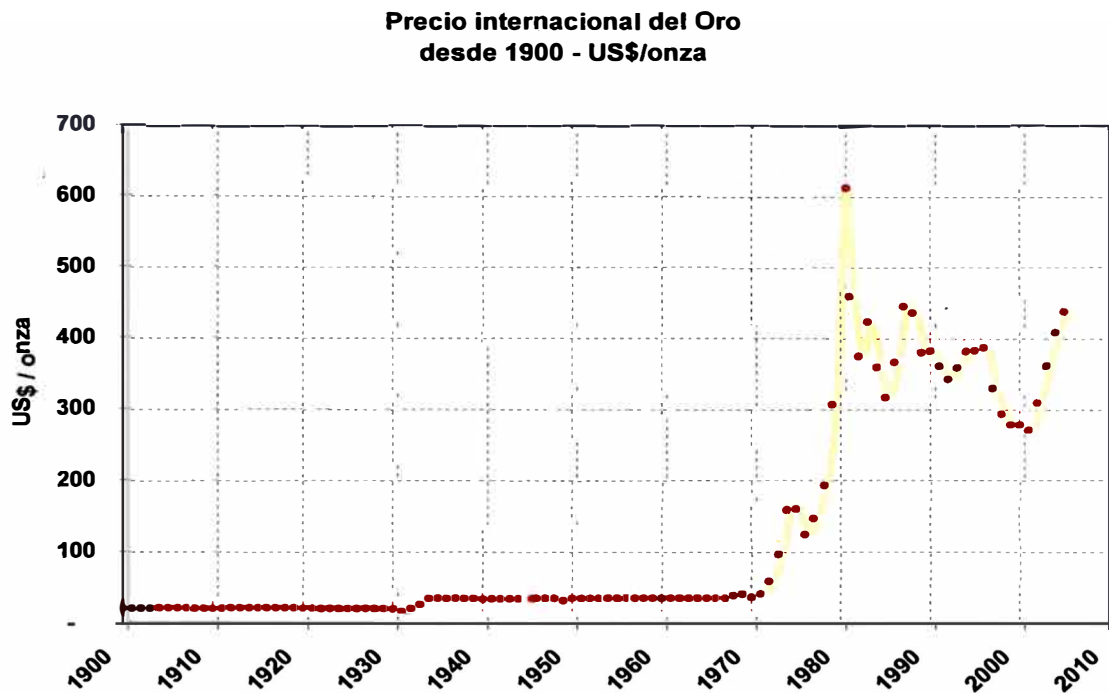


FIGURA 48. Precio internacional del oro en el último siglo

Como se observa en las Figuras 47 y 48 el precio internacional del oro no ha tenido una tendencia estable durante estos últimos años. Debido a esta variabilidad del precio, la cual tiene relación con la inestabilidad del dólar, incremento de la demanda de oro, bajas tasas de interés, etc, hemos asumido un precio internacional del oro de 300 US\$/oz (escenario pesimista en base a la tendencia de los últimos 10 años) desde el año 2007 hasta el fin del proyecto, año 2012. Para los años 2004, 2005 y 2006 se han considerado los precios internacionales reales, los cuales han sido 409,72 US\$/oz, 444,74 US\$/oz y 588,84 US\$/oz respectivamente. Asimismo para el caso de la plata se han considerado para esos mismos años los precios reales; 6,67 US\$/oz; 7,32 US\$/oz y 10,98 US\$/oz respectivamente.

En la parte final de este capítulo se realizará un análisis de sensibilidad del proyecto con respecto a esta variable (basado en los últimos diez años).

5.1.2 TONELAJE DE CARBÓN FINO A GENERAR

Existe una relación directa del carbón fino que se genera con respecto a la cantidad de lotes de desorción que se realiza, tal como se explicó en el capítulo II esto se da básicamente por el sistema de tuberías y bombeo que se tiene en planta.

En la Figura 49 se puede apreciar la relación real de estas dos variables durante el año 2004.

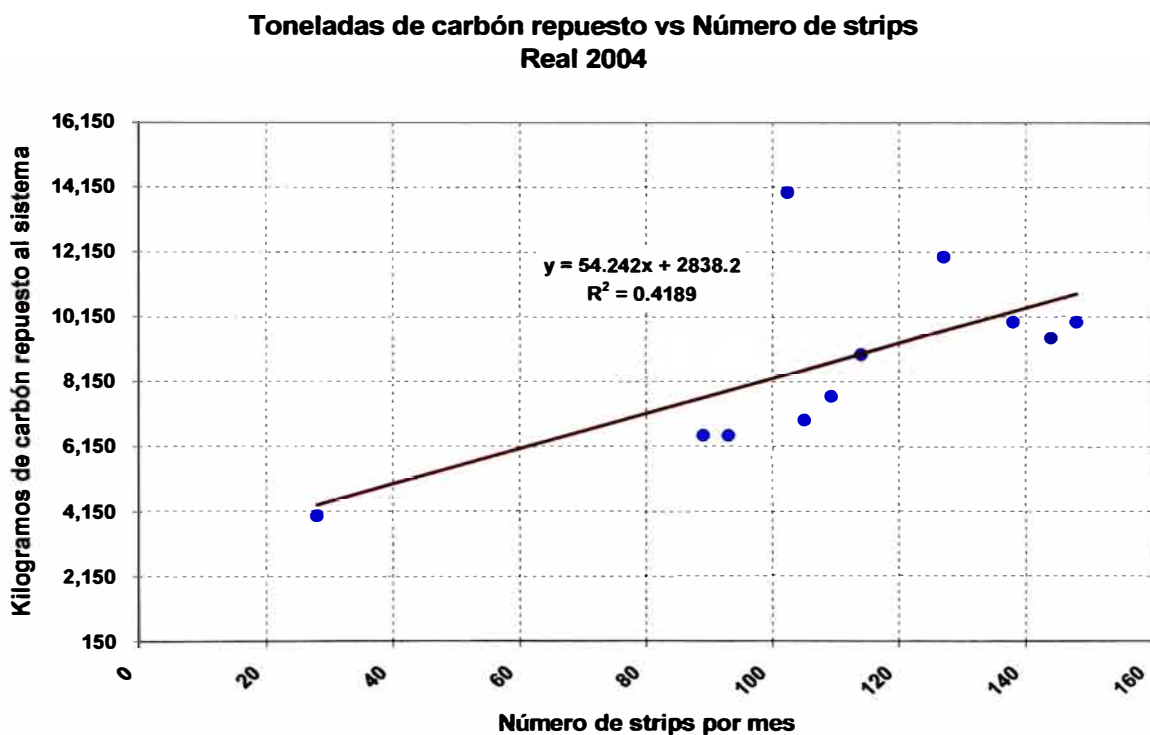


FIGURA 49. Carbón repuesto versus número de lotes de desorción

De acuerdo a esta gráfica podemos asumir la siguiente función:

$$\text{kg Carbón fino a generar} = 54,24 \times \#\text{lotes de desorción} + 2838,20$$

Tal como se indicó en el capítulo II, durante los años anteriores al 2004 el sistema de captura de carbón fino tenía muchas deficiencias, por ese motivo toda la información para la generación de tendencias y relaciones se basa en información del año 2004.

5.1.3 LEY DE CARBÓN FINO A GENERAR

Existe una relación directa de la ley del carbón grueso que se envía hacia desorción con respecto a la ley de solución de ingreso en el circuito de columnas de adsorción. Esta relación se observa en la Figura 50.

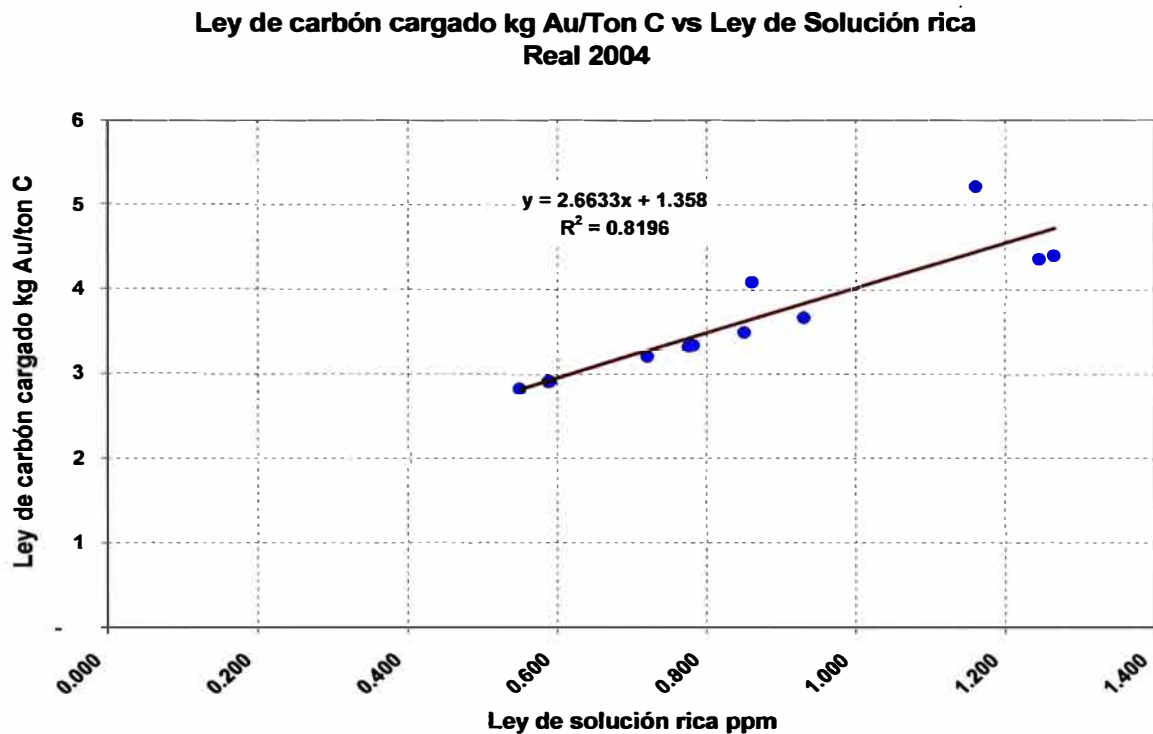


FIGURA 50. Ley de carbón cargado versus ley de ingreso adsorción

De acuerdo a esta gráfica podemos asumir la siguiente función:

$$\text{Ley de carbón grueso kg Au / Ton C} = 2,6633 \times \text{Ley de solución de ingreso a adsorción ppm} + 1.358$$

De acuerdo a las leyes de solución tratada, leyes de carbón grueso cargado y leyes de carbón fino obtenidas durante el 2004, se puede asumir que la ley del carbón fino generado en planta es 43 % de la ley del carbón grueso cargado en la operación normal de planta. Por ende se puede asumir que:

Ley de carbón fino kg Au / t C = 0,43 x Ley de carbón grueso kg Au / t C

5.1.4 COSTOS UNITARIOS

Debido a que Minera Yanacocha trabaja con diversas empresas para el suministro de sus reactivos químicos, no podemos difundir los costos unitarios puesto que esto involucraría a terceros. .

Como referencia hemos tomado el costo unitario de la soda cáustica (por ser el mas bajo de los involucrados), el cual para efectos de la siguiente tabla se definirá como “unidades”. En la siguiente tabla se adjuntan los costos unitarios (expresados en “unidades”), así como las asunciones de precios internacionales.

Costos Unitarios y demás	
Proceso	
Mano de obra	24691 unidades/año trabajador contratista
Energía	9,7 unidades/Kw-hr
Diesel	3,7 unidades/gal
Soda Caústica	1,0 unidades/kg
Cianuro	2,0 unidades/kg
Carbón	837,7 unidades/ton
Intercambiadores de placas	52910 unidades/juego de placas
Filtro de 1 micra	61,7 unidades/unidad
Filtro GAF	4409 unidades/unidad
Precio internacional del oro	300 US\$/oz
Precio internacional de la plata	6.5 US\$/oz
Otras plantas y servicios	
Mtto en planta planta de carbón	166 unidades/número de batch
Merril Crowe	3,1 unidades/ oz de Oro+Plata
Refinería	0,9 unidades/ oz de Oro+Plata
Costo de envío de Oro+plata puesto en refinería de EU	0,7 unidades/ oz de Oro+Plata

TABLA 23. Relación de costos unitarios

5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO PRESENTADO

Tal como se describió en el capítulo III, los requerimientos por cada lote de desorción de carbón fino son:

Requerimientos por batch	
Ton de carbón por batch	4.5 ton
Diesel	190 gal
Soda cáustica	300 kg
Cianuro	200 kg
Energía	5000 Kw
Filtro de 1 micra	2 unidades
Intercambiadores de calor	0,01 juegos

TABLA 24. Requerimientos por lote de desorción de carbón fino

De acuerdo a los puntos descritos anteriormente en este capítulo, podemos resumir los datos necesarios para la evaluación económica de nuestra propuesta en la Tabla 24.

Años	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Inversión									
Filtros GAF unidades	2				2				
Cambios en planta US\$	5000				5000				
Cálculos de generación de carbón									
Operación normal de planta									
Ley de solución rica adsorción ppm		0,66	0,60	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,20
Número de strips por año		1101	1101	1101	825	825	605	605	605
Carbón a generar (f(num strips))		62,54	62,54	62,54	47,61	47,61	35,67	35,67	35,67
Ley de carbón fino (f(ley rica))		1,34	1,28	1,28	1,16	1,05	0,93	0,82	0,82
Generación de carbón fino									
Ton carbón	63	63	63	63	48	48	36	36	36
Ley de Au gr/Kg C	1,65	1,34	1,28	1,28	1,16	1,05	0,93	0,82	0,82
Ley de Ag gr/ Kg C	1,65	1,34	1,28	1,28	1,16	1,05	0,93	0,82	0,82
Producción de valiosos (incluye inventario de los años 2002 y 2003)									
Oro	7031	2696	2576	2566	1778	1602	1068	936	936
Plata	7031	2696	2576	2566	1778	1602	1068	936	936
Cálculos para los estados financieros									
Números de batchs de carbón fino	29	14	14	14	11	11	8	8	8
Mano de obra (operadores)	↑	1	1	1	1	1	1	1	1
Diesel gal	5596	2640	2640	2640	2010	2010	1506	1506	1506
Soda caústica kg	8836	4169	4169	4169	3174	3174	2378	2378	2378
Cianuro kg	5891	2779	2779	2779	2116	2116	1585	1585	1585
Energía Kw	147263	69485	69485	69485	52903	52903	39636	39636	39636
Filtro de 1 micra	59	28	28	28	21	21	16	16	16

TABLA 25. Datos para la evaluación económica del proyecto presentado

Para la evaluación económica se han considerado las siguientes pautas:

Depreciación lineal sin valor de rescate (aunque como se verá en los estados financieros la inversión para este proyecto es mínima).

Se considera el reemplazo de los filtros GAF instalados en el año 2008.

Para el caso del carbón fino se está considerando un costo por este carbón, el costo asumido corresponde a propuestas de compra que maneja Minera Yanacocha.

Además de los costos de tratamiento del carbón fino en la planta de columnas de carbón se ha adicionado el costo de tratamiento tanto en la planta Merrill Crowe como los costos de fundición.

La producción de oro más plata de Minera Yanacocha SRL es enviada hacia el exterior, por ende este costo es que se está colocando como gastos de ventas.

Por motivos de confidencialidad los términos de venta del carbón fino descargado no serán detallados ni considerados en la presente evaluación económica puesto que involucran a un tercero (el comprador) ajeno a las decisiones y políticas de Minera Yanacocha SRL, por ende el VPN obtenido en la evaluación económica del presente trabajo será menor o igual que el proyecto considerando la venta del carbón fino residual.

Como el método propuesto plantea el tratamiento del carbón fino continuo, se tienen flujos de dinero todos los años, puesto que esto se considera como producción de Minera Yanacocha SRL.

El año de inicio del proyecto es considerado el año 2004, puesto que fue el año en que se comenzó el tratamiento de este carbón según el procedimiento propuesto.

ESTADO DE GANACIAS Y PERDIDAS PROYECTADO- EVALUACION ECONOMICA (US\$ del año 2004)									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
INGRESOS	2927717	1218867	1545322	786630	544938	490978	327427	286998	286998
Recuperación en planta	2927717	1218867	1545322	786630	544938	490978	327427	286998	286998
EGRESOS	144830	72940	72400	72356	57638	56847	45510	44917	44917
COSTOS FIJOS	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
Personal	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
COSTOS VARIABLES	130830	58940	58400	58356	43638	42847	31510	30917	30917
Diesel	11609	5478	5478	5478	4170	4170	3125	3125	3125
Soda caústica	5010	2364	2364	2364	1800	1800	1348	1348	1348
Cianuro	6726	3174	3174	3174	2416	2416	1810	1810	1810
Carbón activado	62955	29705	29705	29705	22616	22616	16944	16944	16944
Energía	8099	3822	3822	3822	2910	2910	2180	2180	2180
Filtro de 1 micra	2062	973	973	973	741	741	555	555	555
Tratamiento en MC	24564	9420	9001	8966	6211	5596	3732	3271	3271
Tratamiento en Refinería	7031	2696	2576	2566	1778	1602	1068	936	936
Mtto. en CIC	2774	1309	1309	1309	997	997	747	747	747
UTILIDAD BRUTA	2782887	1145927	1472922	714274	487299	434131	281917	242081	242081
Gastos de Ventas	5203	1995	1906	1899	1316	1185	791	693	693
UTILIDAD DE OPERACIÓN	2777684	1143932	1471015	712374	485984	432945	281127	241389	241389
Depreciación	1500	1500	1500	1500	1200	1200	1200	1200	1200
RENTA NETA	2776184	1142432	1469515	710874	484784	431745	279927	240189	240189
IMP. RENTA (30%)	832855	342730	440855	213262	145435	129524	83978	72057	72057
UTILIDAD NETA	1943329	799702	1028661	497612	339349	302222	195949	168132	168132

TABLA 26. Estado de Ganancias y Pérdidas del proyecto presentado

FLUJO DE CAJA PROYECTADO - EVALUACION ECONOMICA (US\$ del año 2004)									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
INVERSIONES	6000	0	0	0	6000	0	0	0	0
Filtros GAF	5000	0	0	0	5000	0	0	0	0
Cambios en planta	1000	0	0	0	1000	0	0	0	0
UTILIDAD NETA	1943329	799702	1028661	497612	339349	302222	195949	168132	168132
DEPRECIACION	1500	1500	1500	1500	1200	1200	1200	1200	1200
FLUJO NETO DE FONDOS	1938829	801202	1030161	499112	334549	303422	197149	169332	169332

TABLA 27. Flujo de Caja Proyectado del proyecto presentado

En el flujo de caja proyectado se considera la inversión de los filtros GAF (uno en la planta de desorción y el otro en la línea de envío de solución rica hacia la planta de Merrill Crowe tal como se describió en el capítulo III).

INDICADORES ECONOMICOS DEL PROYECTO									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Tasa de descuento MYSRL	12%								
VPN i	1938829	715359	821238	355258	212612	172170	99882	76597	68390
VPN	4460334 US\$ del año 2004								
TIR	Como el FNF en el año 2004 es positivo, la TIR tiende al infinito positivo								
Ingresos i	2927717	1088274	1231921	559908	346318	278594	165885	129823	115914
Egresos i	144830	34405	16109	7594	2853	1327	501	233	110
Relación Beneficio/Costo	33								
FNF i	1938829	715359	821238	355258	212612	172170	99882	76597	68390
Inversiones i	6000	0	0	0	3813	0	0	0	0
Indice del Valor Presente	455								
Evolución de rentabilidad									
FNF i	1938829	715359	821238	355258	212612	172170	99882	76597	68390
VPNA i	1938829	2654188	3475426	3830684	4043296	4215465	4315347	4391944	4460334
Período de recuperación	0 años								

TABLA 28. Indicadores Económicos del proyecto presentado

El inventario de carbón fino en el 2004 se estimó cerca de 70 toneladas, por eso motivo es que el período de recuperación es inmediato (además que la inversión del proyecto es de US\$ 6 000).

Gráfico de evolución de la rentabilidad, VPNA

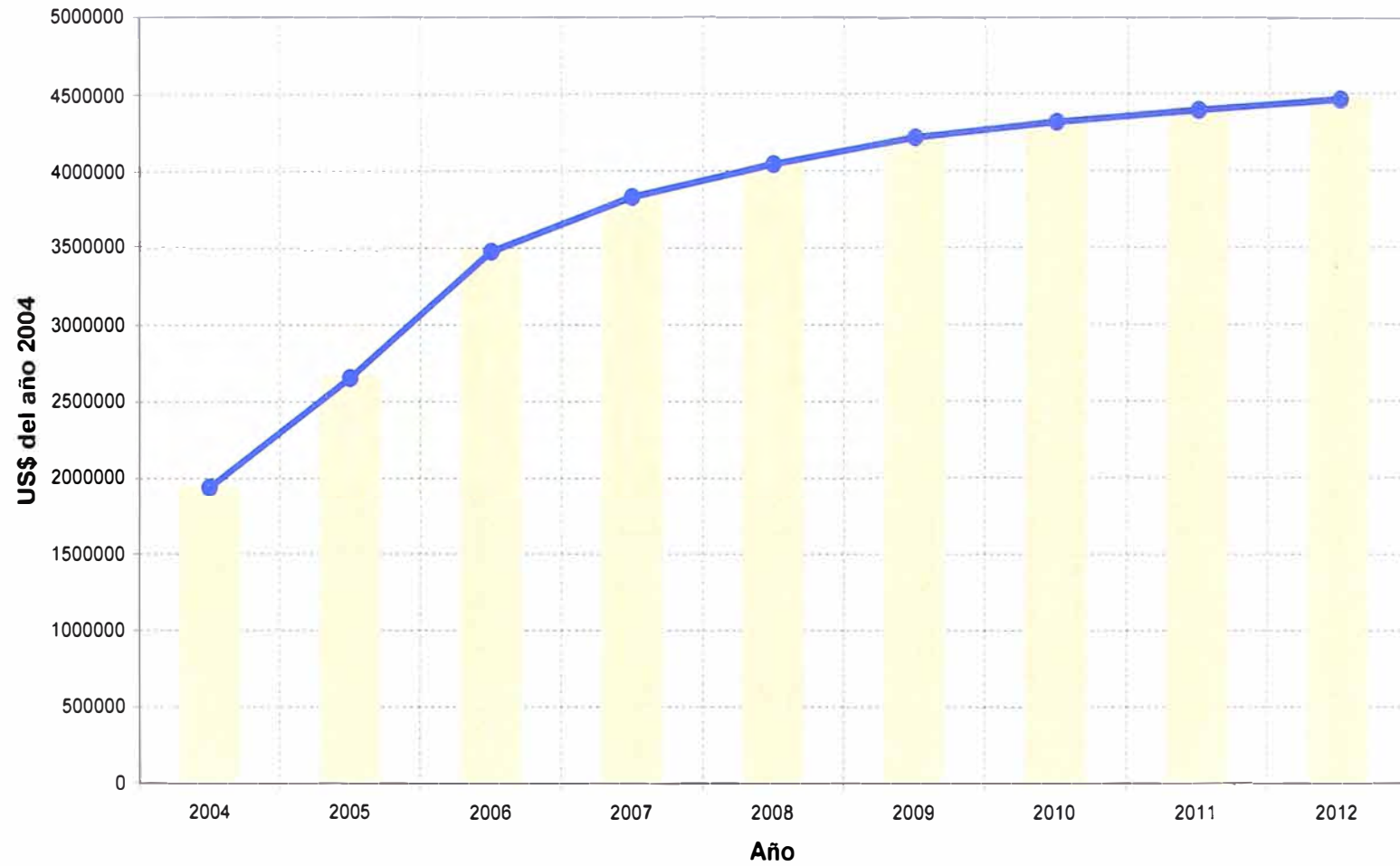


FIGURA 51. VPN Acumulado del proyecto presentado

5.3 RETORTEO DEL CARBON FINO

Las pruebas que se detallaron en el capítulo IV indican que el carbón fino puede ser calcinado y luego quemar las cenizas en el proceso de fusión. Esta opción es similar a la de la construcción de un horno cubilote para la calcinación del carbón fino, pero por motivo de la inversión en un sistema de tratamiento de gases (enfriador de gases, lavador de gases, columnas de carbón sulfurado, etc) debido a la presencia de mercurio en el carbón fino, hace que la inversión en una nueva retorta sea mucho menor puesto que la instalación de una retorta aprovecharía el sistema ya existente de ventilación y tratamiento de gases.

Los requerimientos por cada ciclo de retorteo son:

Requerimientos por ciclo de retorteo	
Ton de carbón por batch	500 kg
Ciclo de retorteo	24 horas
Disponibilidad de retorta	80% %
Energía	6,864 Kw-hr / ciclo
Ciclos máximos por año (365 dc)	292 ciclos
Tonelaje máximo por año a tratar	146 ton

TABLA 29. Requerimientos por lote de retorteo de carbón fino

De acuerdo a los puntos descritos anteriormente en este capítulo, podemos resumir los datos necesarios para la evaluación económica de nuestra propuesta en la Tabla 29.

Años	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Inversión									
Retorta (incluye sistema de ventilación)		450000							
Cálculos de generación de carbón fino									
Operación normal de planta									
Ley de solución rica adsorción ppm		0,60	0,60	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,20
Número de strips por año		1101	1101	1101	825	825	605	605	605
Carbón a generar (f(num strips))		62,54	62,54	62,54	47,61	47,61	35,67	35,67	35,67
Ley de carbón fino (f(ley rica))		1,34	1,28	1,28	1,16	1,05	0,93	0,82	0,82
Generación de carbón fino									
Ton carbón	63	63	63	63	48	48	36	36	36
Ley de Au gr/Kg C	1,65	1,34	1,28	1,28	1,16	1,05	0,93	0,82	0,82
Ley de Ag gr/ Kg C	1,65	1,34	1,28	1,28	1,16	1,05	0,93	0,82	0,82
quedan									
Cálculos para los estados financieros									
Números de ciclos de retorteo			292	292	95	95	71	71	71
Tonelaje de carbón a tratar			146	146	76	48	36	36	36
Mano de obra (operadores)			1	1	1	1	1	1	1
Energía Kw			2004288	2004288	653621	653621	489712	489712	489712
Producción de valiosos (incluye inventario de los años 2002 y 2003)									
Oro			7612	6103	2933	1602	1068	936	936
Plata			7612	6103	2933	1602	1068	936	936

TABLA 30. Datos para la evaluación económica del retorteo de carbón fino

Para la evaluación económica se han considerado las siguientes pautas:

- Depreciación lineal sin valor de rescate puesto que este material estará en contacto con vapores de mercurio.
- El monto de MU\$ 450 de inversión se basa en la información del monto gastado en la construcción de una unidad de retorteo en YN en el año 2002.
- Para las cenizas producto de la calcinación, se considera solamente el costo de tratamiento en fundición. Este costo de fundición se refiere al consumo de reactivos (tales como borax y nitrato), además de consumibles tales como electrodos de grafito, crisoles de bajo cemento, plástico refractario, etc.
- Los costos de mantenimiento de las retortas esta relacionado con el cambio de resistencias de calentamiento, este cambio esta relacionado al tiempo de vida de las resistencias, y se ha considerado la relación real del 2004.
- La producción de oro mas plata de Minera Yanacocha SRL es enviada hacia el exterior, por ende este costo es que se esta colocando como gastos de ventas.
- Para los años 2006 y 2007 la capacidad de tratamiento en retortas es inferior que la cantidad de inventario mas la producción de carbón fino de estos años, por eso es que existe diferencia entre el carbón tratado y el carbón generado. El año 2009 se elimina esta condición.
- El año de inicio de la operación de la nueva retorta es el 2006, el tiempo de construcción de una nueva retorta es entre 3 a 4 meses (aprovechando las facilidades actuales de planta).

ESTADO DE GANACIAS Y PERDIDAS PROYECTADO- EVALUACION ECONOMICA (US\$ del año 2004)									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
INGRESOS	0	0	2332964	1870700	898999	490978	327427	286998	286998
EGRESOS	0	0	33612	32103	28933	27602	27068	26936	26936
COSTOS FIJOS	0	0	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
Personal	0	0	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
COSTOS VARIABLES	0	0	19612	18103	14933	13602	13068	12936	12936
Proceso	0	0	19612	18103	14933	13602	13068	12936	12936
Tratamiento en Refinería	0	0	7612	6103	2933	1602	1068	936	936
Mtto. De Retortas	0	0	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
UTILIDAD BRUTA	0	0	2299353	1838597	870066	463376	300358	260062	260062
Gastos de Ventas	0	0	5633	4517	2171	1185	791	693	693
UTILIDAD DE OPERACIÓN	0	0	2293720	1834080	867895	462191	299568	259369	259369
Depreciación	0	0	64286	64286	64286	64286	64286	64286	64286
RENTA NETA	0	0	2229434	1769794	803609	397905	235282	195083	195083
IMP. RENTA (30%)	0	0	668830	530938	241083	119371	70585	58525	58525
UTILIDAD NETA	0	0	1560604	1238856	562527	278533	164698	136558	136558

TABLA 31. Estado de Ganancias y Pérdidas del retorteo de carbón fino

FLUJO DE CAJA PROYECTADO - EVALUACION ECONOMICA (US\$ del año 2004)									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
INVERSIONES	0	450000	0	0	0	0	0	0	0
Nueva retorta	0	450000	0	0	0	0	0	0	0
UTILIDAD NETA	0	0	1560604	1238856	562527	278533	164698	136558	136558
DEPRECIACION	0	0	64286	64286	64286	64286	64286	64286	64286
FLUJO NETO DE FONDOS	0	-450000	1624890	1303142	626812	342819	228983	200844	200844

TABLA 32. Flujo de Caja Proyectado del retorteo de carbón fino

INDICADORES ECONOMICOS DEL PROYECTO									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Tasa de descuento MYSRL	12%								
VPN i	0	-401786	1295352	927551	398351	194525	116010	90852	81118
VPN	2701972 US\$ del año 2004								
TIR	289%								
Ingresos i	0	0	1859825	1331527	571330	278594	165885	129823	115914
Egresos i	0	0	7479	3369	1432	645	298	140	66
Relación Beneficio/Costo	332								
FNFi	0	-401786	1295352	927551	398351	194525	116010	90852	81118
Inversiones i	0	401786	0	0	0	0	0	0	0
Indice del Valor Presente	7								
Evolución de rentabilidad									
FNFi	0	-401786	1295352	927551	398351	194525	116010	90852	81118
VPNA i	0	-401786	893566	1821117	2219468	2413992	2530002	2620854	2701972
Periodo de recuperación	2 años								

TABLA 33. Indicadores económicos del retorteo de carbón fino

Gráfico de evolución de la rentabilidad, VPNA

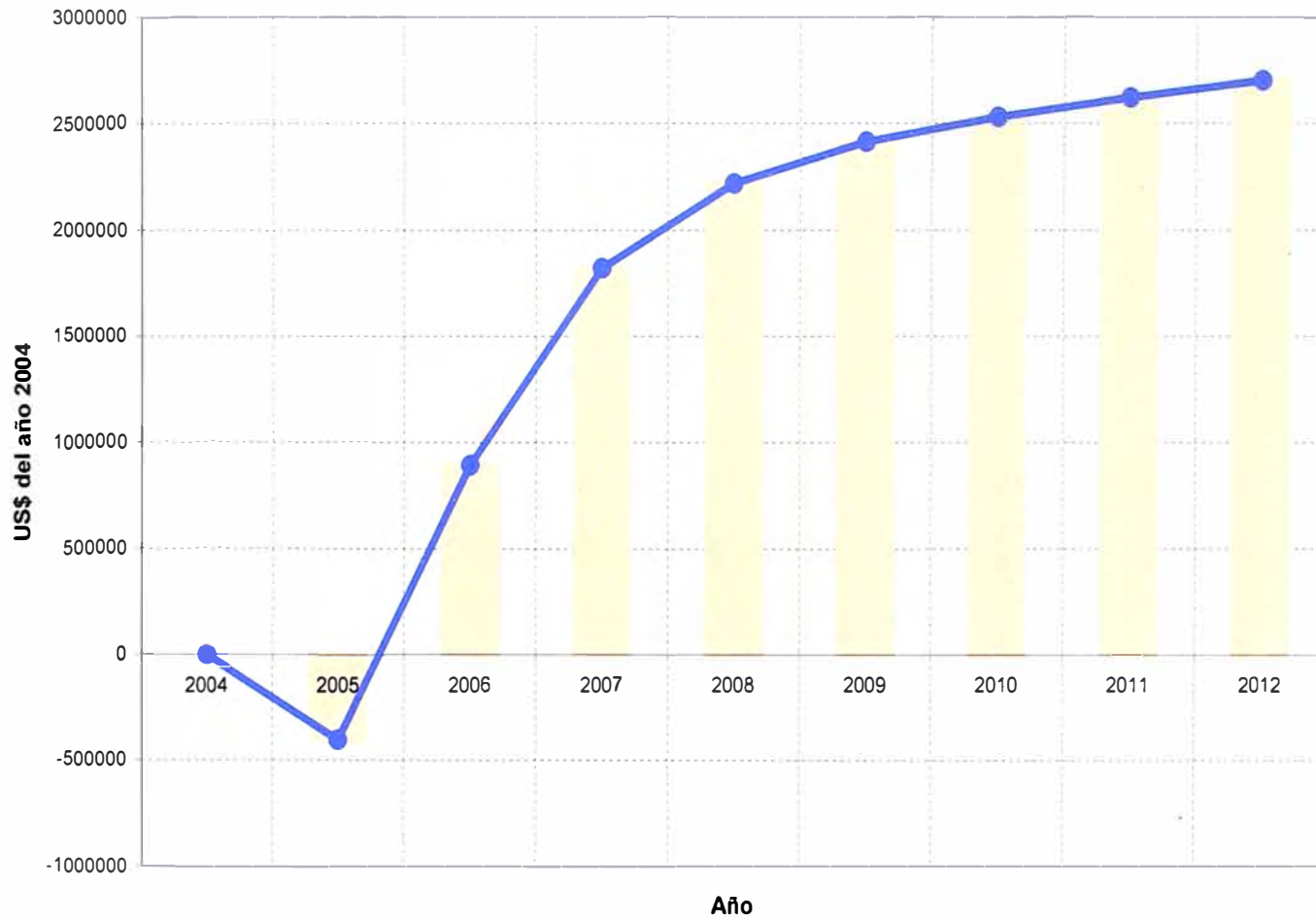


FIGURA 52. VPN Acumulado del retorteo de carbón fino

5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD – PRECIO DEL ORO

Tal como se describió en el punto 5.4.1, el precio del oro es una de las variables más importantes en la evaluación económica. La siguiente gráfica muestra la sensibilidad de ambos proyectos con respecto a la variable precio internacional del oro.

El barrido del análisis de sensibilidad va desde un precio de 250 US\$/onza hasta 500 US\$/onza.

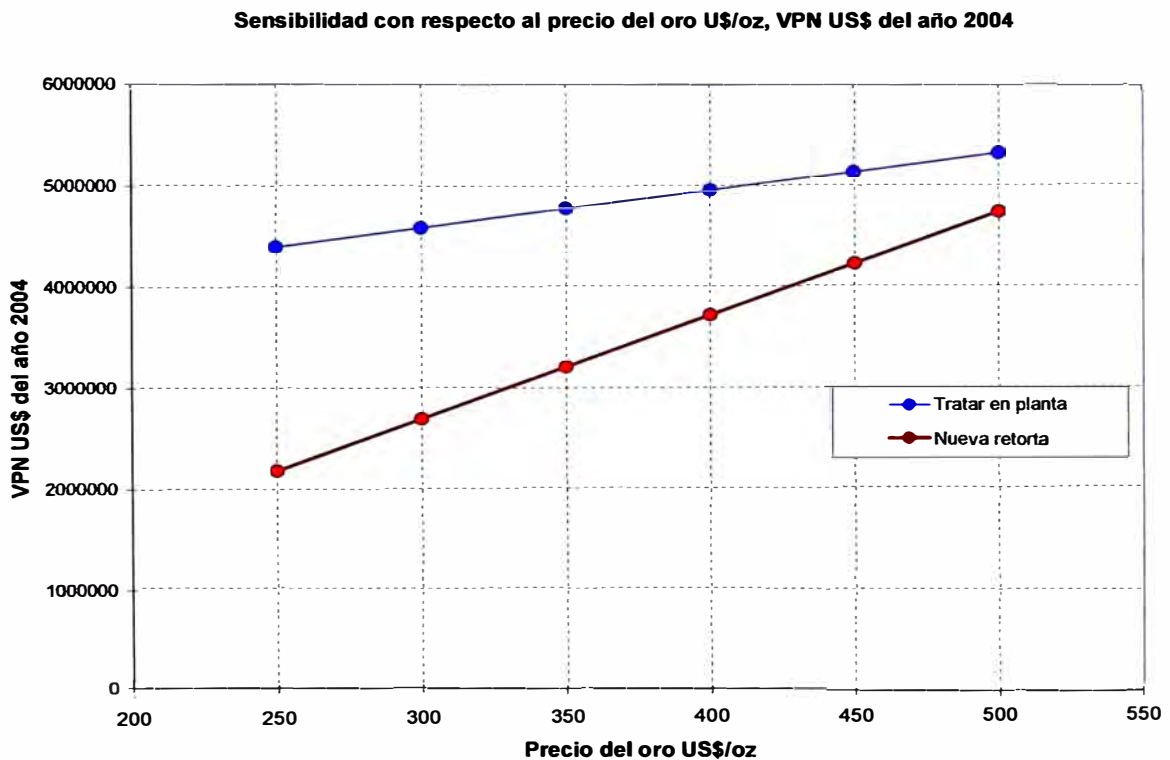


FIGURA 53. Sensibilidad del VPN respecto al precio del oro

5.5 TABLA RESUMEN

En la siguiente tabla se resumen los principales resultados de la económica de ambas opciones:

Indicador	Tratar en planta	Nueva retorta
VPN	4460334	2701972
TIR	infinito +	289%
Inversión	12000	450000
Periodo de recup.	0	2
Ciclo del proyecto	9	9
Relación Beneficio/Costo	33	332
Indice del Valor Presente	455	7

TABLA 34. Comparación de indicadores

Entre las principales diferencias tenemos:

La opción de tratar el carbón fino en planta tiene un VPN que es mayor en US\$ 1 758 363 con respecto a la opción del retorteo del carbón.

El TIR de la propuesta de tratar en planta tiende al infinito, puesto que la inversión en el año 0 del proyecto es de US\$ 6 000 y debido a la producción casi inmediata de oro y plata provenientes de las cerca de 70 toneladas secas de carbón fino que se tenían como inventario de los años anteriores, se tiene una utilidad neta en el año 0 de US\$ 1 943 329.

La relación beneficio costo del proyecto de retorteo de carbón fino es superior (332 versus 33) debido a que valor presente de los egresos del proyecto de retorteo es de US\$ 13 429, mientras que para el proyecto de tratar el carbón fino en la planta de carbón es US\$ 207 965.

El período de recupero de tratar el carbón en planta tiende a 0 por la sola inversión de US\$ 6 000 y la producción de oro y plata provenientes del carbón fino de inventario.

- En el análisis de sensibilidad se observa que a medida que aumenta el precio del oro la diferencia entre los VPNA tiende a reducirse, esto debido a que para los años 2004, 2005 y 2006 se ha considerado el precio real del oro en esos años.

5.6 EVALUACION ECONOMICA SIN CONSIDERAR INVENTARIOS

A fin de determinar los resultados intrínsecos de cada proyecto, en este punto se evaluarán ambos proyectos sin considerar el inventario de 70 toneladas secas de carbón fino almacenadas en Minera Yanacocha.

En ambos casos se ha considerado todos los requerimientos tal cual se ha considerado en la evaluación de la condición real de Minera Yanacocha (con el inventario).

ESTADO DE GANACIAS Y PERDIDAS PROYECTADO- EVALUACION ECONOMICA (US\$ del año 2004)									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
INGRESOS	1381430	1218867	1545322	786630	544938	490978	327427	286998	286998
Recuperación en planta	1381430	1218867	1545322	786630	544938	490978	327427	286998	286998
EGRESOS	128143	72940	72400	72356	57638	56847	45510	44917	44917
COSTOS FIJOS	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
Personal	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
COSTOS VARIABLES	114143	58940	58400	58356	43638	42847	31510	30917	30917
Diesel	11609	5478	5478	5478	4170	4170	3125	3125	3125
Soda caústica	5010	2364	2364	2364	1800	1800	1348	1348	1348
Cianuro	6726	3174	3174	3174	2416	2416	1810	1810	1810
Carbón activado	62955	29705	29705	29705	22616	22616	16944	16944	16944
Energía	8099	3822	3822	3822	2910	2910	2180	2180	2180
Filtro de 1 micra	2062	973	973	973	741	741	555	555	555
Tratamiento en MC	11590	9420	9001	8966	6211	5596	3732	3271	3271
Tratamiento en Refinería	3318	2696	2576	2566	1778	1602	1068	936	936
Mtto. en CIC	2774	1309	1309	1309	997	997	747	747	747
UTILIDAD BRUTA	1253287	1145927	1472922	714274	487299	434131	281917	242081	242081
Gastos de Ventas	2455	1995	1906	1899	1316	1185	791	693	693
UTILIDAD DE OPERACIÓN	1250832	1143932	1471015	712374	485984	432945	281127	241389	241389
Depreciación	1500	1500	1500	1500	1200	1200	1200	1200	1200
RENTA NETA	1249332	1142432	1469515	710874	484784	431745	279927	240189	240189
IMP. RENTA (30%)	374799	342730	440855	213262	145435	129524	83978	72057	72057
UTILIDAD NETA	874532	799702	1028661	497612	339349	302222	195949	168132	168132

TABLA 35. Estado de Ganancias y Pérdidas del proyecto presentado sin considerar el inventario

FLUJO DE CAJA PROYECTADO - EVALUACION ECONOMICA (US\$ del año 2004)									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
INVERSIONES	6000	0	0	0	6000	0	0	0	0
Filtros GAF	5000	0	0	0	5000	0	0	0	0
Cambios en planta	1000	0	0	0	1000	0	0	0	0
UTILIDAD NETA	874532	799702	1028661	497612	339349	302222	195949	168132	168132
DEPRECIACION	1500	1500	1500	1500	1200	1200	1200	1200	1200
FLUJO NETO DE FONDOS	870032	801202	1030161	499112	334549	303422	197149	169332	169332

TABLA 36. Flujo de Caja Proyectado del proyecto presentado sin considerar el inventario

INDICADORES ECONOMICOS DEL PROYECTO									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Tasa de descuento MYSRL	12%								
VPN i	870032	715359	821238	355258	212612	172170	99882	76597	68390
VPN	3391538 US\$ del año 2004								
TIR	Como el FNF en el año 2004 es positivo, la TIR tiende al infinito positivo								
Ingresos i	1381430	1088274	1231921	559908	346318	278594	165885	129823	115914
Egresos i	128143	34405	16109	7594	2853	1327	501	233	110
Relación Beneficio/Costo	28								
FNF i	870032	715359	821238	355258	212612	172170	99882	76597	68390
Inversiones i	6000	0	0	0	3813	0	0	0	0
Indice del Valor Presente	346								
Evolución de rentabilidad									
FNF i	870032	715359	821238	355258	212612	172170	99882	76597	68390
VPNA i	870032	1585391	2406629	2761887	2974499	3146669	3246550	3323147	3391538
Periodo de recuperación	0 años								

TABLA 37. Indicadores Económicos del proyecto presentado sin considerar el inventario

ESTADO DE GANACIAS Y PERDIDAS PROYECTADO- EVALUACION ECONOMICA (US\$ del año 2004)									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
INGRESOS	1381430	1218867	1545322	786630	544938	490978	327427	286998	286998
EGRESOS	29318	28696	28576	28566	27778	27602	27068	26936	26936
COSTOS FIJOS	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
Personal	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
COSTOS VARIABLES	15318	14696	14576	14566	13778	13602	13068	12936	12936
Proceso	15318	14696	14576	14566	13778	13602	13068	12936	12936
Tratamiento en Refinería	3318	2696	2576	2566	1778	1602	1068	936	936
Mtto. De Retortas	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
UTILIDAD BRUTA	1352112	1190171	1516746	758064	517160	463376	300358	260062	260062
Gastos de Ventas	2455	1995	1906	1899	1316	1185	791	693	693
UTILIDAD DE OPERACIÓN	1349657	1188175	1514840	756164	515844	462191	299568	259369	259369
Depreciación	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000
RENTA NETA	1299657	1138175	1464840	706164	465844	412191	249568	209369	209369
IMP. RENTA (30%)	389897	341453	439452	211849	139753	123657	74870	62811	62811
UTILIDAD NETA	909760	796723	1025388	494315	326091	288533	174698	146558	146558

TABLA 38. Estado de Ganancias y Pérdidas del retorteo de carbón fino sin considerar el inventario

FLUJO DE CAJA PROYECTADO - EVALUACION ECONOMICA (MMUS\$ del año 2004)									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
INVERSIONES	450000	0	0	0	0	0	0	0	0
Nueva retorta	450000	0	0	0	0	0	0	0	0
UTILIDAD NETA	909760	796723	1025388	494315	326091	288533	174698	146558	146558
DEPRECIACION	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000
FLUJO NETO DE FONDOS	509760	846723	1075388	544315	376091	338533	224698	196558	196558

TABLA 39. Flujo de Caja Proyectado del retorteo de carbón fino sin considerar el inventario

INDICADORES ECONOMICOS DEL PROYECTO									
Rubros	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Tasa de descuento MYSRL	12%								
VPN i	509760	756002	857292	387433	239013	192093	113839	88913	79387
VPN	3223732 MMUS\$ del año 2004								
TIR	Como el FNF en el año 2004 es positivo, la TIR tiende al infinito positivo								
Ingresos i	1381430	1088274	1231921	559908	346318	278594	165885	129823	115914
Egresos i	29318	13536	6358	2998	1375	645	298	140	66
Relación Beneficio/Costo	97								
FNF i	509760	756002	857292	387433	239013	192093	113839	88913	79387
Inversiones i	450000	0	0	0	0	0	0	0	0
Indice del Valor Presente	7								
Evolución de rentabilidad									
FNF i	509760	756002	857292	387433	239013	192093	113839	88913	79387
VPNA i	509760	1265762	2123055	2510488	2749500	2941593	3055432	3144345	3223732
Periodo de recuperación	-	años							

TABLA 40. Indicadores económicos del retorteo de carbón fino sin considerar el inventario

A continuación se presenta la Tabla 41 con los principales indicadores económicos.

Indicador	Tratar en planta	Nueva retorta
VPN	3391538	3223732
TIR	infinito +	infinito +
Inversión	12000	450000
Periodo de recup.	0	1
Ciclo del proyecto	9	9
Relación Beneficio/Costo	28	97
Indice del Valor Presente	346	7

TABLA 41. Comparación de indicadores sin considerar el inventario

Como en la evaluación considerando el inventario del carbón fino, si no consideramos el inventario, el VPNA del proyecto presentado es 167 806 US\$ mayor que el proyecto de construir una nueva retorta. Se debe de considerar un beneficio adicional de ocupar una capacidad ociosa de planta (proyecto presentado) con respecto a la construcción de una nueva planta, así como los ingresos por la venta de este carbón los cuales no han sido considerados por involucrar a terceros.

CAPÍTULO VI

IMPLEMENTACIÓN A NIVEL INDUSTRIAL DEL MÉTODO PROPUESTO

Como se mencionó en el capítulo III de la presente tesis la producción de oro de la planta de Columnas de Carbón de Yanacocha Norte disminuirá a partir del año 2006 y, como consecuencia, la frecuencia de ciclos de desorción. Esta es la oportunidad para iniciar la desorción del carbón fino almacenado en la planta de Yanacocha Norte.

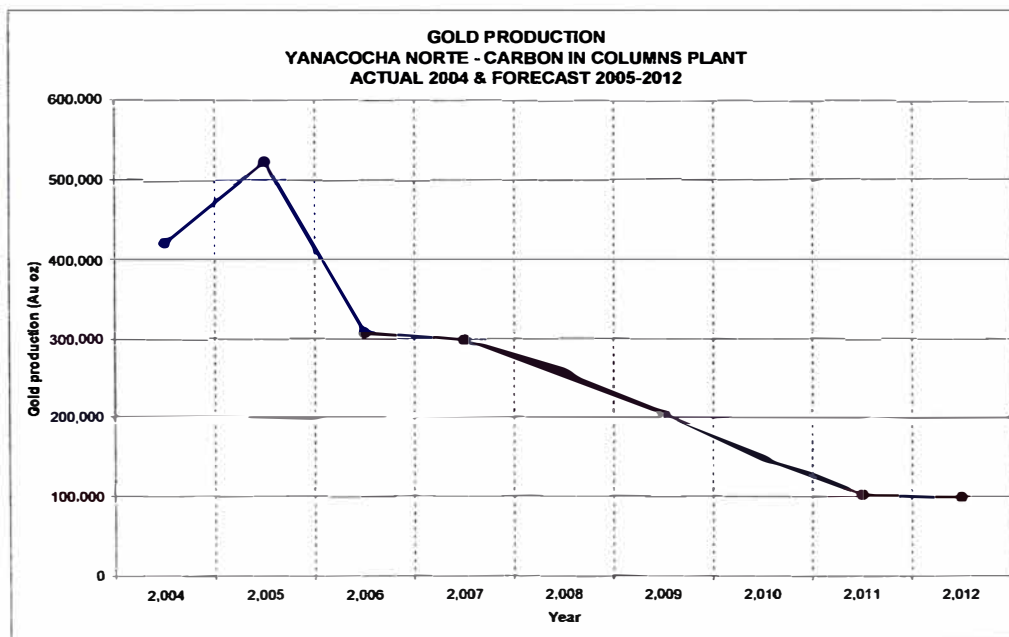


FIGURA 54. Producción de oro de acuerdo al forecast 2005-2012

Actualmente la operación de desorción toma 8 horas aproximadamente por ciclo, lo cual significa que se pueden realizar hasta seis lotes de desorción por día en la planta (son dos plantas de desorción). De acuerdo al plan de producción 2005-

2012 la frecuencia de desorciones será inicialmente de 3 lotes por día durante dos años para luego bajar a dos y luego a 1 lote por día, esto implica que menos del 50 % de la capacidad de la planta será aprovechada y estará disponible para realizar la desorción del oro del carbón fino.

En la siguiente gráfica podemos apreciar el número de lotes de desorción reales realizados en la planta de columnas de carbón en el año 2004, así como la proyección del número de ciclos de desorción por día de los años 2005 al 2012.

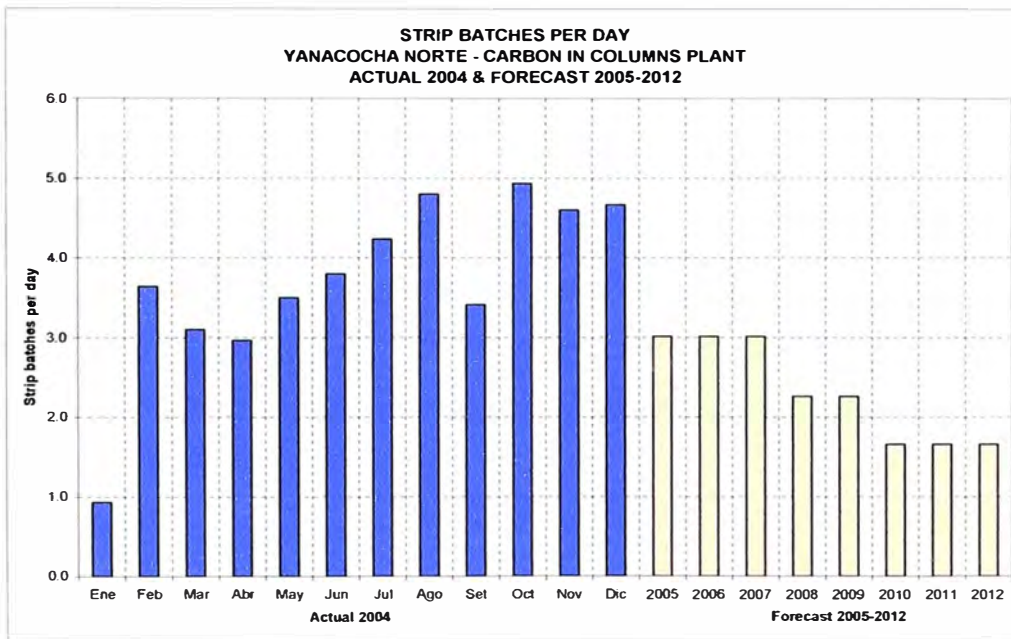


FIGURA 55. Ciclos de desorción de acuerdo al forecast 2005-2012

Basados en la operación de la planta durante los años 2001 al 2004, se estima la recuperación de cerca de 21000 onzas de oro hasta el año 2012, como se aprecia en el siguiente gráfico.

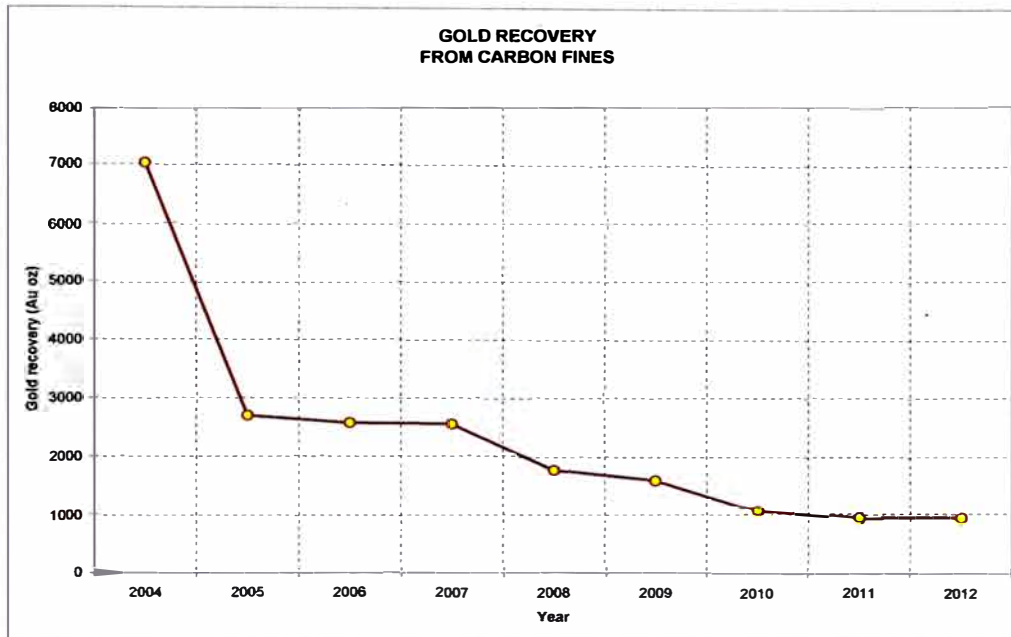


FIGURA 56. Oro recuperado del carbón fino de acuerdo al plan de trabajo

Debido a que la aplicación del método propuesto no pone en riesgo la producción planificada, la desorción del carbón fino en la planta de columnas de carbón de Yanacocha Norte ha pasado a ser una operación adicional en el desenvolvimiento de la planta después que se finalizaron las pruebas en el 2004.

Hasta la fecha no se ha presentado problemas operativos (problemas en placas de intercambiadores de calor, en filtros internos y externos de la planta, etc) en la desorción del carbón fino, puesto que al pasar a ser una operación mas de la planta esta se realiza periódicamente y el tratamiento es mucho mas sencillo (tal como se describió en el capítulo III, la desorción de un carbón fino recién generado).

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se detallará las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo, todas las conclusiones a presentar están basadas en los capítulos anteriores, así como las recomendaciones.

7.1 CONCLUSIONES

1. La desorción de carbón fino con correctas adiciones de cianuro de sodio permite la recuperación de más del 95% de los contenidos de oro y plata en el carbón fino.
2. La presencia de mercurio en el carbón fino influye en la eficiencia del proceso de desorción de este material, pero la presencia de mercurio es contrarestada con la adición de cianuro de sodio.
3. La desorción del carbón no compromete la operatividad del circuito de desorción, los sistemas de filtración instalados a lo largo del sistema de desorción impiden que el carbón fino llegue a los intercambiadores de calor o la solución de envío para la planta de Merrill Crowe.
4. Desde el punto de vista económico, el procesamiento del carbón fino dentro de las instalaciones de Minera Yanacocha SRL generan un VPN de US\$ 4 460 334.
5. Existe la disponibilidad de planta necesaria dentro de las instalaciones de Minera Yanacocha SRL para procesar este carbón fino sin interferir en lo absoluto en la operación cotidiana de la planta. No se necesita inversión para otros

equipos o plantas de tratamiento del carbón fino en Minera Yanacocha SRL.

6. En la evaluación económica no se considero el aspecto de la venta del carbón, por ende los índices económicos presentados son menores a la realidad actual de Minera Yanacocha SRL.
7. La desorción del carbón fino es una alternativa viable con respecto a los métodos usuales de calcinación y fusión del carbón.

7.2 RECOMENDACIONES

1. La desorción del carbón fino generado se debe realizar a la brevedad posible después de su generación para evitar los problemas de formación de lodos (carbón y agua) que hacen difícil su bombeo al circuito de desorción.
2. La desorción del carbón fino debería realizarse en campañas mensuales a fin de tener mayor exactitud en el balance metalúrgico de la planta de columnas de carbón activado.
3. En caso no se planee realizar la desorción de carbón fino por diferentes razones, este deberá ser almacenado en bolsas expuestas al ambiente a fin de ayudar en la evaporación de la humedad del carbón.

CAPITULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artículos técnicos

- R01. Arratia, Rubén L. (2000). Precios y Costos en la Industria Minera. Lecciones del Siglo XX, 2000.
- R02. Bailey, P. R. (1985). Plant Operation. SAIMM School on the Use of Activated Carbon for Gold Recovery. Volume 2 Lecture 11, Johannesburg. October 1985
- R03. Bailey, P. R. (1985). Ancilliary Operations: Acid Treatment, Elutriation, Carbon Sizing, Carbon Breakage. SAIMM School on the Use of Activated Carbon for Gold Recovery. Volume 3 Lecture 24, Johannesburg. October 1985.
- R04. Fleming, C. A. (1985). Adsorption Theory. SAIMM School on the Use of Activated Carbon for Gold Recovery. Volume 1 Lecture 3, Johannesburg. October 1985..
- R05. Lin, H. K., Hill, E. M., and Oleson, J. L., (2003). Recovering Gold from Carbon Fines by a Gold Transfer Process. Minerals & Metallurgical Processing, Volume 20 Number 1. May 2003.
- R06. Van Vilet, B. M. (1985). Regeneration Principles. SAIMM School on the Use of Activated Carbon for Gold Recovery. Volume 2 Lecture 20, Johannesburg. October 1985.

Libros

- L01. Bailey, P. R. (1987). In The Extractive Metallurgy of Gold in South Africa, Volume 1 Chapter 9, pp 379-608, G. G.

- Stanley, Ed., South African Institute of Mining and Metallurgy. Johannesburg, 1987.
- L02. TECSUP (2002). Procesos con Carbón Activado en la Recuperación de Oro. Programa de Capacitación Continua. Cajamarca, Noviembre 2002.
- L03. Smith, J. M. (1986). Ingeniería de la cinética química, Cap 4, Reactores Isotérmicos para reacciones Homogéneas.
- L04. Karlekar, B.V. (1996). Transferencia de calor, Cap 7, Flujo de fluidos para transferencia de calor, Apéndice G, datos termodinámicos de metales y gases.
- L05 Perry, Robert H. and Green, Don W. (1999). Perry's Chemical Engineers' Handbook, Chapter 10, Transport and Storage of Fluids.
- L06. Perry, Robert H. and Green, Don W. (1999). Perry's Chemical Engineers' Handbook, Chapter 11, Heat Transfer Equipment.
- L07 Perry, Robert H. and Green, Don W. (1999). Perry's Chemical Engineers' Handbook, Chapter 18, Liquid-Solids Operations and Equipment.

Otros

- O01. Porras, Emilio. (1999). Copias entregadas en el curso Economía de los Procesos, Facultad de Ingeniería Química, UNI, Capítulo 9, 1999.
- O02. Pimentel, Miguel (2005). Aspectos Técnicos y Económicos para Optimizar la Fundición de Oro de Minera Yanacocha S.R.L., Capítulo 5, Tesis de Maestría 2005.
- O03. Príale, Rodrigo (2005). Programa Integral de Administración para no Especialistas Quick MBA – Minera Yanacocha, Octubre 2004 – Febrero 2005. .

- O04. Página web Kitco, <http://www.kitco.com>, charts&data, Historical London Fix
- O05. Curso de Balances Pirometalúrgicos, Universidad de Chile, Physical and Thermodynamic data used in Heat and mass balance calculations
- O06. Programa de Balances Metalúrgicos METSIM
- O07. Elution design and operation, A review of the Zadra process for the elution of gold from activated carbon, by P R Bailey, Consulting Metallurgist
- O08. Manual de puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento, para Minera Yanacocha por JOSTEK, proyecto J02400L Elution Heater package.
- O09. Ecuaciones de diseño de intercambiadores de placas, información proporcionada por empresa de placas Chevron.

CAPÍTULO IX

ANEXOS

A continuación se detalla la relación de anexos de este capítulo:

- 9.1 Informe de resultados de las dos primeras pruebas de desorción de carbón fino presentado en Minera Yanacocha.
- 9.2 Resumen del reporte presentado a la Gerencia. Esta actualización de los resultados obtenidos por la idea implementada en Minera Yanacocha SRL fue solicitada puesto que el tratamiento del carbón fino fue considerado como idea finalista de las mejores ideas planteadas en Minera Yanacocha SRL en el año 2004.
- 9.3 Hoja de control de parámetros de un lote de desorción de carbón fino con adición de 2 m³ de cianuro de sodio.
- 9.4 Hoja de control de parámetros de un lote de desorción de carbón fino con adición de 4 m³ de cianuro de sodio.
- 9.5 Consideraciones para los balances de energía.
- 9.6 Datos de diseño de los principales equipos.

9.1 REPORTE DE PRUEBAS PRELIMINARES DE DESORCIÓN DE CARBÓN FINO

Memorandum Interno

A: José Manrique
CC: Miguel Pimentel / Angel Chung
De: Leonardo Paliza / Alfonso Villar.
Fecha: 20 / Oct / 03
Asunto: Tratamiento del Carbón Fino.

1. Objetivos:

- Determinar la eficiencia de recuperación de oro del carbon fino.
- Determinar las Oz de Au, Ag recuperados
- Indentificar los problemas que se presentan durante la operación.

2. Estimado de Contenido de Oro

- Se adjunta los balances de oro correspondientes vía soluciones y vía leyes de carbón.

Balance de Soluciones			
	Flujo m3	Ley ppm	Onzas
Prueba 1	25.5	71	58
Prueba 2	28.4	111	102
Inven Solución Rica	4.9	111	18
Inven Solución Intermedia	30.1	113	109
Onzas Recuperadas			287

Balance de Carbón					
	Carbón Ton	Humed. %	C. Carg g / Kg	C. Desc. g / Kg	Onzas
prueba 1	3.5	42%	2.12	0.08	133
prueba 2	3.9	42%	2.27	0.05	162
Onzas Recuperadas					295

Adicionalmente las onzas de plata recuperadas fueron de : **88.63** Onzas.

3. Procedimiento de la prueba.

- a) Se trasladó el carbón de los cilindros hacia la loza de almacenamiento de soda. Lotes cuatro toneladas aprox (25 cilindros aprox).
- b) Con la ayuda del tecele se levanto los cilindros y se introdujo en el tanque de rozamiento .



- c) Se envió el carbón fino hacia la columna de desorción (directamente), no se utilizó el tracto ni algún método de zarandeo.



- a) Parámetros de strip (se adjuntan los reportes de strip)
- Flujo de operación : 18 m³/hr
 - Set Point del Calentador de aceite : 135 ° C (se tuvo que controlar a fin de que no supere los 145°C para evitar problemas con los empaques).
- b) Descarga del strip hacia el silo de carbon descargado.
- c) Por gravedad y con la ayuda del montacarga cargar cilindros de carbón y colocarlas en la loza junto al area de adsorción para su envío al pad.



5. Conclusiones

- Alta eficiencia de desorción de oro y plata.
Oro : **96.3%** y **98.0%** Plata : **96.0%** y **97.3%**
- Los balances vía soluciones y vía carbón son congruentes.
- Durante la operación de desorción y envío de solución rica a M.C. no se presento ningún problema operativo.
- Los resultados de mercurio aún no han sido alcanzados por Lab.

Nota : Se adjuntan los análisis de todas las muestras, así como las de trabajo del strip.

ANEXO

PRUEBA N° 1

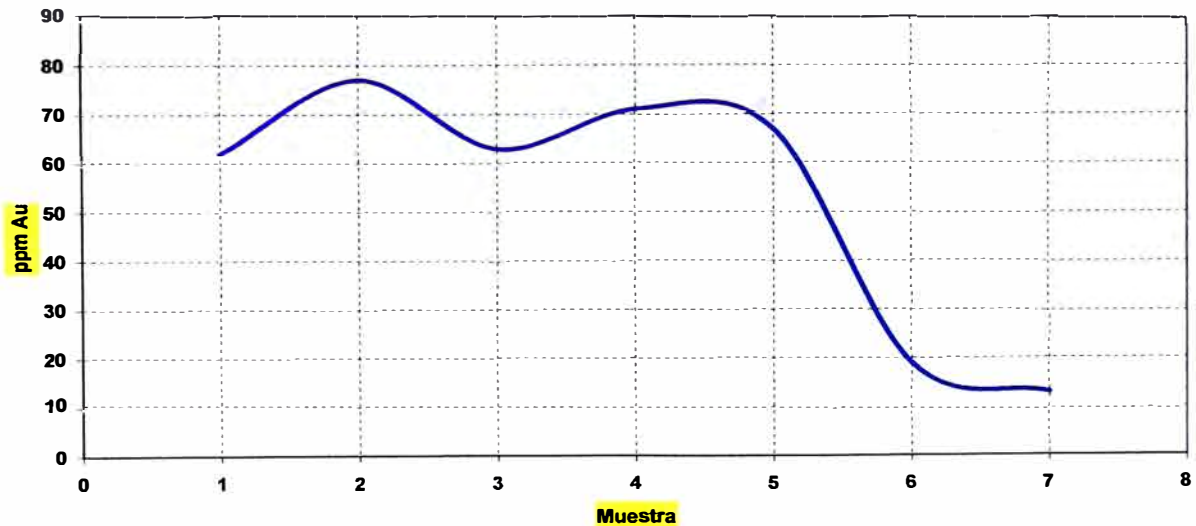
N°	CODIGO	L E Y E S		
		Au (g/KgC)	Ag (g/KgC)	Observaciones
1	RC-1 Strip1	2.118	0.629	CARBON CARGADO
2	RD-1 Strip1	0.078	0.025	CARBON DESCARGADO
Eficiencia		96.3%	96.0%	

N°	CODIGO	L E Y E S		
		Au (mg/L)	Ag (mg/L)	Observaciones
1	M1- Solución Rica	70.00	29.00	SOLUCION RICA
2	M2- Solución Rica	74.00	28.00	SOLUCION RICA
3	M3- Solución Rica	71.00	28.00	SOLUCION RICA
4	M4- Solución Rica	69.00	28.00	SOLUCION RICA
5	M5- Solución Rica	72.00	30.00	SOLUCION RICA
Average		71.20	28.60	

6	M6-Intermedia Final	47.00	12.00	SOLUCION INTERMEDIA
---	---------------------	-------	-------	---------------------

Curva de Strip - Muestra x Muestra				
7	CC-1 Strip1	62.00	29.00	SOLUCION INTERMEDIA
8	CC-2 Strip1	77.00	26.00	SOLUCION INTERMEDIA
9	CC-3 Strip1	63.00	25.00	SOLUCION INTERMEDIA
10	CC-4 Strip1	71.00	23.00	SOLUCION INTERMEDIA
11	CC-5 Strip1	67.00	21.00	SOLUCION INTERMEDIA
12	CC-6 Strip1	19.00	1.99	SOLUCION INTERMEDIA
13	CC-7 Strip1	13.00	0.67	SOLUCION INTERMEDIA

Curva de Strip - Prueba 1



PRUEBA N° 2

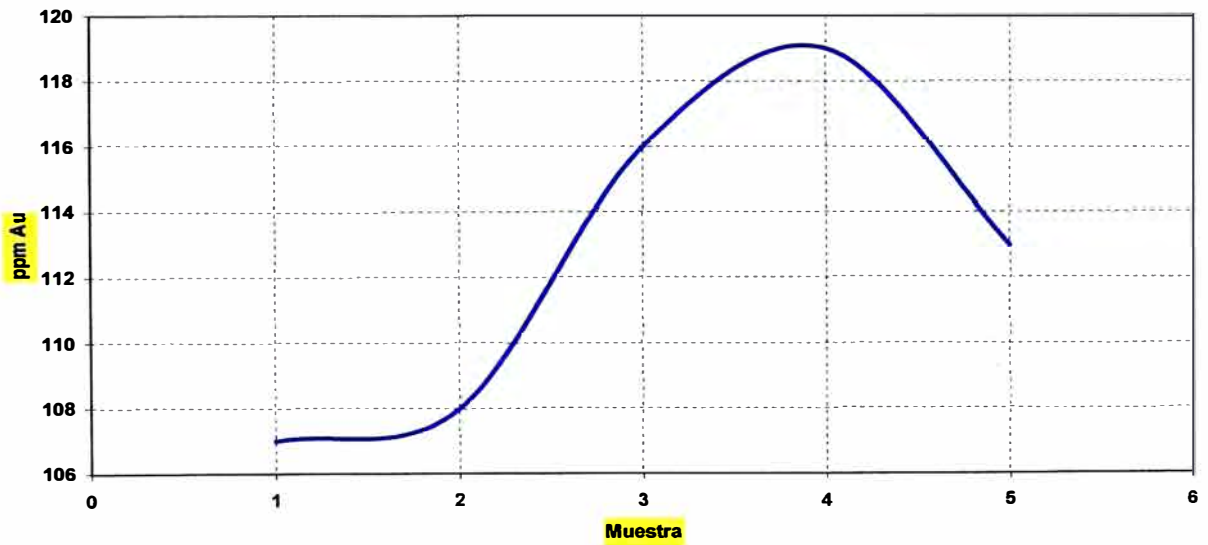
N°	CODIGO	L E Y E S		
		Au (g/KgC)	Ag (g/KgC)	Observaciones
1	RC-1 Strip1	2.269	0.629	CARBON CARGADO
2	RD-1 Strip1	0.046	0.025	CARBON DESCARGADO
Eficiencia		98.0%	96.0%	

N°	CODIGO	L E Y E S		
		Au (mg/L)	Ag (mg/L)	Observaciones
1	M1- Solución Rica	106.00	40.00	SOLUCION RICA
2	M2- Solución Rica	107.00	44.00	SOLUCION RICA
3	M3- Solución Rica	108.00	43.00	SOLUCION RICA
4	M4- Solución Rica	116.00	44.00	SOLUCION RICA
5	M5- Solución Rica	119.00	43.00	SOLUCION RICA
Average		111.20	42.80	

6	M6-Intermedia Final	113.00	33.00	SOLUCION INTERMEDIA
---	---------------------	--------	-------	---------------------

Curva de Strip - Muestra x Muestra				
7	CC-1 Strip1	107.00	45.00	SOLUCION INTERMEDIA
8	CC-2 Strip1	108.00	49.00	SOLUCION INTERMEDIA
9	CC-3 Strip1	116.00	42.00	SOLUCION INTERMEDIA
10	CC-4 Strip1	119.00	42.00	SOLUCION INTERMEDIA
11	CC-5 Strip1	113.00	26.00	SOLUCION INTERMEDIA

Curva de Strip - Prueba 2



PRUEBAS CARBON

Yanacocha Norte - Planta 2
Planta de Carbón

Presion 250 Kpa
300 Kpa

Planta 2

FINO

Planta Yanacocha

Set point 135 °C Reporte de desorción
Acetate

Lote N°	1
Carbón tratado (tm)	4.0

Se hizo limpieza de filtro prensa	si	90
Se hizo limpieza de filtros de columna	si	90
Se hizo limpieza de intercambiadores	si	90

3 metros menos de la medida.

Fecha y hora	Desorción (D)
Inicio	9:10 a.m. / 09.10.03
Término	7:00 P.m. / 09.10.03
Operadores	JOSE MUÑOZ JOSE MUÑOZ

NaCN		kg/strip			NaOH		%	kg/m ³	%	kg/m ³
Tn	kg/m ³	5%	10%	15%			70	98	85	79
3	126	32	64	96			75	91	90	74
4	169	43	86	128			80	79	95	69

	Inicio	Fin	Total
Cianuro %	49	34	15
Petróleo D2 %	188	100	88
Acido sulfámico (lb)			

Raños	Plan	Real
NaCN (kg/strip)	110	
NaOH (kg/strip)	360	300
D2 (gal/strip)	261	255.2

Con. Inicio	Plan	Real
NaCN (kg/m ³)	126	
NaOH (kg/m ³)	91	

P2 - P3 > 12 Lavar intercambiadores

Datos

Cianuro de sodio = tk @ 5.1 m³

Soda Cáustica = tk @ 5.09 m³

Combustible = tk @ 1.5 m³ (290 gal)

Parámetros de desorción

t	min	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
Eventos		1								2			3	4			
Muestra	CC									cc-1	cc-2	cc-3	cc-4	cc-5	cc-6	cc-7	
Flujo	m ³ /h	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
P2	kpa	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	
P3	kpa	440	440	450	460	450	450	450	450	460	460	460	460	460	460	450	450
P4	kpa	300	300	310	300	300	300	300	300	310	300	300	320	320	300	300	
P5	kpa	260	230	280	270	280	280	280	280	280	280	280	280	300	300	260	270
P6	kpa	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	
P7	kpa	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	
P8	kpa	180	180	200	200	230	240	240	240	250	250	200	60	30	200	220	
T1	°C	12	20	24	28	32	40	50	54	60	64	64	10	10	10	10	
T2	°C	34	50	62	72	84	86	94	98	100	106	110	84	84	78	76	
T3	°C	150	160	230	200	220	230	235	210	240	250	250	260	240	230	230	
T4	°C	50	70	90	102	108	116	122	122	122	128	132	128	127	126	124	
T5	°C	30	40	52	60	64	72	78	82	84	90	96	66	66	64	62	
Ta	°C	130	124	138	132	135	136	136	138	142	144	145	140	136	136	136	
Tb	°C	40	116	128	126	130	130	130	132	136	140	140	134	130	130	130	

Eventos	1 inicio de recirculación (t=0)	2 inicio de bombeo a tk solución rica	3 inicio de inyección de agua blanda (enjuague a tk solución rica)	4 inicio de inyección de agua blanda (enjuague a tk solución intermedia)	5 Fin de lote

Observaciones: TANQUE SOLUCION RICA 34%
TANQUE SOLUCION INTERMEDIA 45%

Se rompió malla del filtro para queda en la parte inferior y cumple su función de filtrado.
(No) se necesita realizar limpieza de intercambiadores.
34% 14%

Peso en el s. Yo 3.2 toneladas Carbon.

Planta 2

Yanacocha

Reporte de desorción

Lote N°:	2
Carbón tratado (tm)	4.0

Se hizo limpieza de filtro prensa	Si	<input checked="" type="checkbox"/>
Se hizo limpieza de filtros de columna	Si	<input checked="" type="checkbox"/>
Se hizo limpieza de intercambiadores	T	P

→ 3 metros menos de la medida.

Fecha y hora	Desorción (D)	
Inicio	9:40	o.m. 10/10/03
Término	4:30	11/10/10/03
Operadores	Jose Muñoz	

NaCN	Tn	kg/strip			NaOH	%	Kg/m3	%	Kg/m3
		5%	10%	15%					
	3	126	32	64	96	70	98	85	79
	4	169	43	86	128	75	91	90	74
						80	78	95	69

	Inicio	Fin	Total
Cianuro %	64.9	49.9	15
Petróleo D2 %	94	35	59
Acido sulfámico (lb)			

Ratios	Plan	Real
NaCN (kg/strip)	110	
NaOH (kg/strip)	350	300
D2 (gal/strip)	261	171

Con. Inicio	Plan	Real
NaCN (kg/m ³)	126	
NaOH (kg/m ³)	91	

P2 - P3 > 12 Lavar intercambiadores

Daños

Cianuro de sodio = 1k @ 5.1 m³

Soda Cáustica = 1k @ 5.09m³

Combustible = 1k @ 1.5 m³ (280 gal)

Parámetros de desorción

t	min	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
Eventos		1						2			4						
Muestras	CC							CC-1	CC-2	CC-3	CC-4	CC-5					
Flujo	m ³ /h	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18					
P2	kpa	340	340	340	340	340	340	350	330	330	330	330					
P3	kpa	450	450	450	460	460	460	460	470	450	460	460					
P4	kpa	300	300	300	300	300	300	320	320	300	300	300					
P5	kpa	250	250	280	280	280	250	300	300	280	280	280					
P6	kpa	240	240	240	240	240	220	250	250	230	230	230					
P7	kpa	230	230	230	230	230	200	230	230	210	210	210					
P8	kpa	230	210	200	200	200	200	200	200	200	200	200					
T1	°C	50	52	58	60	64	62	72	74	76	10	10					
T2	°C	60	76	90	94	100	106	110	112	110	86	84					
T3	°C	110	200	220	220	225	240	235	240	250	250	250					
T4	°C	64	90	108	114	120	124	128	128	128	128	128					
T5	°C	50	58	78	82	86	92	98	100	100	62	60					
T6	°C	132	136	136	138	140	146	138	138	140	136	132					
Tb	°C	124	130	130	132	136	140	136	136	133	130	128					

- Eventos
- 1 Inicio de recirculación (t=0)
 - 2 Inicio de bombeo a 1k solución rica
 - 3 Inicio de inyección de agua blanda (enjuague a 1k solución rica)
 - 4 Inicio de inyección de agua blanda (enjuague a 1k solución intermedia)
 - 5 Fin de lote

11:00 AM
1:40 PM
3:10 PM
4:50 PM

Observaciones: Inicio del strip con 45% TK intermedia y 8% TK S. Rica.

- * Carbon cargado ✓
- * Carbon descargado ✓
- * Intermedia Fin ✓
- * Rica Fin ✓

9.2 REPORTE DE ACTUALIZACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS POR EL TRATAMIENTO DEL CARBÓN FINO

Memorandum Interno

A: Miguel Pimentel
De: Leonardo Paliza / Alfonso Villar
Fecha: 24 / Agosto / 04
Asunto: Actualización del Tratamiento de Carbón Fino Yanac. Norte

1. Objetivos:

- Determinar las Oz de Au, Ag recuperados a la fecha
- Determinar la eficiencia de recuperación de oro del carbon fino
- Identificar los cambios realizados para el tratamiento del carbon fino.

2. Resumen de resultados a la fecha

- Número de lotes : 23 (16 con carbón de Yanacocha Norte y 7 con carbón de La Quinua)
- Tonelaje de carbón por strip : 4.25 ton aprox (Total carbón 98 tons)
- Análisis del Carbón cargado y descargado (resultados con el incremento de cianuro en la solucin de strip)

	Oro ppm	Plata ppm
Carbón cargado	1.65	2.05
Carbón descargado	0.06	0.05
Recuperación	96.3%	97.8%

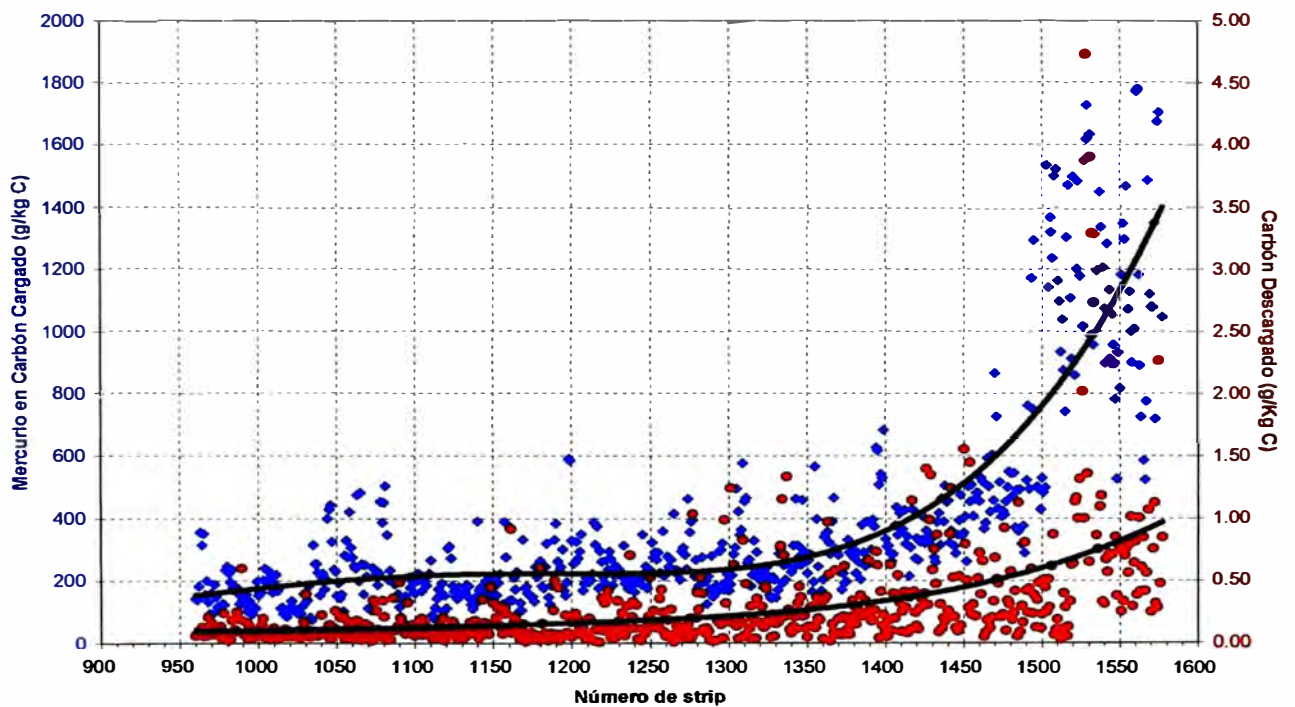
- Onzas Recuperadas a la fecha : **4,058 oz oro y 2,968 oz plata.**
- Ganancia del tratamiento del carbón en YN : **US\$ 1,609,623**
- **No** se necesita la construcción de la planta de fusión de carbón fino (**inversión US\$ 800,000**, este monto no ha sido considerado en la evaluación económica del método propuesto).

3. Discusión de resultados

En las dos primeras pruebas realizadas con carbón fino que se había recuperado recientemente (sin presencia de material pastoso y con bajo contenido de mercurio (menos de 350 g/ kg C) las eficiencias de recuperación fueron mayores a **97%**.

La recuperación global de oro fue de **82%**. Este porcentaje guarda relación con la recuperación en la operación normal para altos contenidos de mercurio (según muestreo de investigaciones metalurgicas el contenido de mercurio en el carbón fino fue de 1,450 g/kg C).

Oro en Carbón Descargado vs Contenido de Mercurio en el Carbón Cargado



- A raíz de estos resultados se decidió incrementar en una 100% la adición de cianuro a fin de minimizar la presencia de mercurio en el efecto de la concentración de cianuro en la desorción del oro.
- Los resultados fueron totalmente favorables, tal como se presenta en la tabla adjunta.

Strip	Carbón Fino - YN		Efic.
	Oro	Ag	
1	58.37	23.45	
2	102.00	39.00	
3	130.89	78.06	
4	128.28	53.37	
5	139.46	68.53	
6	120.52	48.85	
7	163.55	78.74	
8	173.82	86.55	82%
9	148.63	51.43	
10	167.83	68.22	
11	189.59	87.45	
12	215.63	76.25	
13	229.39	81.12	
14	134.86	57.33	
15	177.57	68.33	98%
16	240.82	81.83	96%
Sub-Total	2,521	1,049	

Inventario
Tk Intermed
Tk rica

-
-
20.69 6.87

Total	2,542	1,055
--------------	--------------	--------------

Strip	Carbón Fino - LQ		Fecha	Efic.
	Oro	Ag		
1	158.37	327.27	5-May	94%
2	101.12	219.18	6-May	93%
3	217.13	444.37	12-May	99%
4	368.94	137.47	19-May	98%
5	405.43	166.84	8-Jun	97%
6	106.04	183.24	11-Jun	90%
7	159.88	433.99	10-Jul	95%
Sub-Total	1,517	1,912		

Inventario
Tk Intermedia
Tk rica

Total	1,517	1,912
--------------	--------------	--------------

* Resultados en azul, incremento de la adición de cianuro del 20% al 40%

4. Conclusiones y Resultados

- La eficiencia de recuperación de oro del presente método es superior a 95%.
- Después de dos años y medio se pudo dar tratamiento a mas de 250 cilindros ubicados en Yanacocha Norte y ahora se esta tratando los 300 cilindros de La Quinoa.
- Dado a los resultados obtenidos, el procedimiento del carbón fino no es mas un proyecto, ahora es parte de la operación normal de planta.
- El incremento de cianuro permite incrementar la recuperación de 82% a mas 95%, no siendo inconveniente en las plantas de aguas puesto que por el volumen del tanque de almacenamiento de solución rica se puede regular el envío a MC.
- Con los filtros y demás instalaciones realizadas se reduce la posibilidad de presencia de carbón fino en los intercambiadores de calor y en la solución de envío a Merrill Crowe.

9.3 HOJA DE CONTROL DE LOTE DE DESORCIÓN CON ADICIÓN DE 2 m³ DE CIANURO DE SODIO



Yanacocha Norte - Planta 2
Planta de Carbón

Planta 2

Reporte de desorción

Lote N°	10
Carbón tratado (tm)	42

Se hizo limpieza de filtro prensa	si	no
Se hizo limpieza de filtros de columna	si	no
Se hizo limpieza de intercambiadores	T	P

Fecha y hora	Desorción (D)		
Inicio	06/11/07 - 9:00 am		
Término	06/11/07 - 5:45 pm		
Operadores	Gonzalo Torres		

Tn (kg/m ³)	kg/strip		
	5%	10%	15%
3	128	64	86
4	189	86	129

NaOH	%		kg/m ³	
	70	99	95	79
	75	91	90	74
	80	79	95	69

	Inicio	Fin	Total
Cianuro %	50%	75%	75
Petróleo D2 %	4.8%	14.0	50
Acido sulfámico (b)			

Ratios	Plan	Real
NaCN (kg/strip)	110	36
NaOH (kg/strip)	350	230
D2 (kg/strip)	281	232

Con. Inicio	Plan	Real
NaCN (kg/m ³)	125	75
NaOH (kg/m ³)	91	93

P2 - P3 > 12 Lavar intercambiadores

Datos

Cianuro de sodio = tk @ 5.1 m²

Soda Cáustica = tk @ 5.09m²

Combustible = tk @ 1.5 m² (290 gal)

Parámetros de desorción

I	min	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
Eventos	1				2			3			4						
Muestra CC					10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Flujo m ³ /h	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
P2 kpa	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320
P3 kpa	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
P4 kpa	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
P5 kpa	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
P6 kpa	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P7 kpa	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
P8 kpa	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
T1 °C	28	30	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
T2 °C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
T3 °C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
T4 °C	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
T5 °C	28	30	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Ta °C	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Tb °C	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

- Eventos
- 1 Inicio de recirculación (I=0)
 - 2 Inicio de bombeo a 1k solución rica
 - 3 Inicio de inyección de agua blanda (enjuague a 1k solución rica)
 - 4 Inicio de inyección de agua blanda (enjuague a 1k solución intermedia)
 - 5 Fin de lote

11:00 am
12:00 pm
1:00 pm
3:15 pm
5:15 pm

Observaciones

9.4 HOJA DE CONTROL DE LOTE DE DESORCIÓN CON ADICIÓN DE 4 m³ DE CIANURO DE SODIO



Yanacocha Norte - Planta 2
Planta de Carbón

Planta 2

Reporte de desorción

Lote N°	10
Carbón tratado (tm)	400

Se hizo limpieza de filtro prensa	si	no
Se hizo limpieza de filtros de columna	si	no
Se hizo limpieza de intercambiadores	T	P
	si	no

Fecha y hora	Desorción (D)		
Inicio	15 12 03	11 45 00	
Termino		11 22 00	
Operadores	Gonzalez Pizarro		

NaCN	kg/strip			NaOH	%		kg/m ³	
	Tn	5%	10%		15%	70	98	85
3	120	32	64	96	75	91	90	74
4	169	43	86	129	80	79	95	69

	Inicio	Fin	Total
Cianuro %	65%	25%	40%
Petroleo D2 %	18%	7%	11%
Acido sulfámico/lb			

Ratios	Plan	Real
NaCN (kg/strip)	110	110
NaOH (kg/strip)	350	300
D2 (gal/strip)	261	225

Con. Inicio	Plan	Real
NaCN (kg/m ³)	125	120
NaOH (kg/m ³)	91	79

P2 - P3 > 12 Lavar intercambiadores

Datos

Cianuro de sodio = tk @ 5.1 m³

Soda Cáustica = tk @ 5.09m³

Combustible = tk @ 1.5 m³ (290 gal)

Parámetros de desorción

I	m ³	D	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
Eventos																	
Muestra	CC																
Fujo	m ³ /h	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
P2	kpa	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
P3	kpa	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
P4	kpa	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
P5	kpa	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
P6	kpa	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
P7	kpa	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
P8	kpa	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
T1	°C	54	50	42	30	20	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
T2	°C	54	50	42	30	20	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
T3	°C	50	40	30	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
T4	°C	54	40	30	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
T5	°C	54	50	40	30	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ta	°C	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
Tb	°C	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28

- Eventos
- 1 Inicio de recirculación (t=0)
 - 2 Inicio de bombeo a la solución nca
 - 3 Inicio de inyección de agua blanda (enjuage a tk solución nca)
 - 4 Inicio de inyección de agua blanda (enjuage a tk solución intermedia)
 - 5 Fin de lote

1 10 20
2 10 30
3 10 40
4 10 50
5 10 60

Observaciones

9.5 CONSIDERACIONES TERMODINAMICAS PARA EL BALANCE DE ENERGIA DE LAS ETAPAS DE DESORCION, REGENERACION TERMICA Y DESORCION DE CARBON FINO

En los balances presentados en los capítulos II y III no se han considerado la presencia de materiales valiosos tales como oro y plata (debido a que los contenidos son referidos a ppm) en el caso de la desorción de carbón. Mientras que en el caso de la regeneración de carbón no se ha considerado al mercurio (por la misma razón). A continuación se adjunta la información para la elaboración de los balances.

APENDICE G.2. Valores de propiedades de gases a presión atmosférica (continúa)

T, K	ρ , kg/m ³	ρ_g , kg/m ³	$\rho_{\text{rel}}(\text{kg/m}^3)$	$\rho_{\text{rel}}(\text{kg/m}^3)$	$\rho_{\text{rel}}(\text{kg/m}^3)$	$\rho_{\text{rel}}(\text{kg/m}^3)$	$\rho_{\text{rel}}(\text{kg/m}^3)$
30	0.04729	18.849	1.698	1.693	0.0229	0.02183	0.130
40	0.05051	18.981	1.719	1.693	0.0232	0.02186	0.131
100	0.06571	19.319	1.713	1.714	0.0265	0.02408	0.132
150	0.07471	19.502	1.700	1.718	0.0282	0.02475	0.134
200	0.08170	19.587	1.681	1.731	0.0293	0.02519	0.136
250	0.08656	19.619	1.657	1.742	0.0299	0.02543	0.137
300	0.08989	19.616	1.629	1.750	0.0302	0.02554	0.138
350	0.09199	19.588	1.598	1.755	0.0303	0.02558	0.138
400	0.09307	19.491	1.564	1.757	0.0303	0.02558	0.138
450	0.09333	19.369	1.528	1.756	0.0302	0.02556	0.138
500	0.09289	19.207	1.490	1.752	0.0301	0.02552	0.138
550	0.09186	19.012	1.451	1.745	0.0299	0.02546	0.137
600	0.09033	18.791	1.411	1.735	0.0297	0.02538	0.137
650	0.08841	18.544	1.370	1.722	0.0294	0.02528	0.136
700	0.08619	18.281	1.328	1.707	0.0291	0.02516	0.135
750	0.08376	18.004	1.285	1.690	0.0287	0.02502	0.134
800	0.08113	17.714	1.241	1.671	0.0283	0.02487	0.133
850	0.07831	17.412	1.196	1.650	0.0278	0.02471	0.132
900	0.07531	17.100	1.150	1.627	0.0273	0.02454	0.131
950	0.07215	16.779	1.103	1.602	0.0267	0.02436	0.130
1000	0.06885	16.451	1.056	1.575	0.0261	0.02417	0.129
1050	0.06543	16.118	1.009	1.547	0.0254	0.02397	0.128
1100	0.06191	15.782	0.962	1.518	0.0247	0.02376	0.127
1150	0.05831	15.444	0.915	1.488	0.0240	0.02354	0.126
1200	0.05465	15.105	0.868	1.457	0.0232	0.02331	0.125
1250	0.05095	14.766	0.821	1.425	0.0224	0.02307	0.124
1300	0.04723	14.427	0.774	1.392	0.0216	0.02282	0.123
1350	0.04351	14.089	0.727	1.359	0.0208	0.02257	0.122

Oxígeno

100	0.0418	0.0479	1.153	1.147	0.03633	0.03197	0.111
150	0.05059	0.05738	11.488	1.147	0.04137	0.03689	0.113
200	1.1878	0.0631	11.822	1.147	0.04423	0.04013	0.114
250	1.5816	0.0677	11.97	1.147	0.04559	0.04189	0.115
300	1.9807	0.0709	12.03	1.147	0.04623	0.04272	0.116
350	1.1183	0.0731	12.06	1.147	0.04623	0.04287	0.116
400	0.0733	0.0739	12.06	1.147	0.04623	0.04287	0.116
450	0.0733	0.0739	12.06	1.147	0.04623	0.04287	0.116
500	0.0733	0.0739	12.06	1.147	0.04623	0.04287	0.116
550	0.0733	0.0739	12.06	1.147	0.04623	0.04287	0.116
600	0.0733	0.0739	12.06	1.147	0.04623	0.04287	0.116

Nitrógeno

100	1.4929	1.0129	0.682	0.711	0.039899	0.024112	0.108
200	1.7108	1.0428	12.347	0.711	0.04423	0.02724	0.111
300	1.911	1.0488	12.64	0.711	0.04572	0.02811	0.113
400	2.0829	1.0499	12.69	0.711	0.04623	0.0284	0.114
500	2.2284	1.0493	12.71	0.711	0.04623	0.0284	0.114
600	2.3491	1.0481	12.71	0.711	0.04623	0.0284	0.114
700	2.4424	1.0463	12.71	0.711	0.04623	0.0284	0.114
800	2.5117	1.0441	12.69	0.711	0.04623	0.0284	0.114
900	2.5595	1.0415	12.66	0.711	0.04623	0.0284	0.114
1000	2.5978	1.0387	12.64	0.711	0.04623	0.0284	0.114
1100	2.6276	1.0357	12.62	0.711	0.04623	0.0284	0.114
1200	2.6511	1.0327	12.61	0.711	0.04623	0.0284	0.114

APENDICE G-2. Valores de propiedades de gases a presión atmosférica (continúa)

T, K	ρ , kg/m ³	μ , Pa·s	ν , m ² /s	α , m ² /s	k , W/m·K	γ , m ² /s	β
------	----------------------------	--------------	---------------------------	------------------------------	-------------	------------------------------	---------

Dióxido de carbono

220	2.4754	0.185	11.187	4.490	0.010885	0.05820	0.488
250	2.1827	0.184	12.380	5.817	0.012884	0.07405	0.580
300	1.7478	0.171	16.024	8.731	0.016272	0.10058	0.720
350	1.5152	0.160	17.297	11.78	0.018247	0.11808	0.785
400	1.3424	0.143	18.52	14.39	0.02131	0.13443	0.798
450	1.1918	0.130	19.54	17.06	0.024907	0.14873	0.797
500	1.0722	1.015	21.29	21.57	0.030182	0.1608	0.782
550	0.9758	1.047	23.08	25.74	0.036424	0.1707	0.683
600	0.8958	1.076	24.81	29.03	0.04311	0.1782	0.608

Monóxido de carbono

220	1.3243	1.0121	12.827	4.903	0.01908	0.11780	0.724
250	0.8430	1.0121	15.43	11.28	0.02144	0.13653	0.700
300	1.10878	1.0421	17.849	15.57	0.02717	0.15280	0.701
350	0.97418	1.0431	20.754	20.63	0.03463	0.1668	0.702
400	0.85353	1.0481	23.19	27.09	0.04319	0.17885	0.703
450	0.75819	1.0521	25.18	31.88	0.0525	0.1889	0.710
500	0.68213	1.0535	26.68	35.10	0.06263	0.1971	0.711
550	0.62018	1.0735	27.89	41.57	0.07417	0.2040	0.711
600	0.56823	1.0877	28.88	47.08	0.08718	0.2100	0.711

Amoníaco, NH₃

220	0.4533	2.144	1.253	1.80	0.0171	0.2054	0.61
270	0.7629	2.117	5.453	1.75	0.0202	0.2308	0.60
320	0.8487	2.117	11.835	1.70	0.0274	0.2501	0.60
370	0.8580	2.138	17.885	1.60	0.0327	0.2653	0.61
420	0.8681	2.115	24.573	1.51	0.0364	0.2782	0.61
470	0.8407	2.054	28.48	1.74	0.0457	0.2871	0.61

Vapor de agua de H₂O

180	0.1807	2.293	12.71	0.78	0.0168	0.2458	0.688
200	0.2342	2.314	13.41	0.83	0.0201	0.2518	0.688
250	0.4007	2.389	15.35	0.91	0.0288	0.267	0.688
300	0.4805	2.463	17.64	0.98	0.0394	0.287	0.688
350	0.4705	2.507	20.84	1.02	0.0524	0.311	0.681
400	0.4502	2.519	25.47	1.06	0.0682	0.337	0.680
450	0.4280	2.534	29.47	1.09	0.0868	0.365	0.675
500	0.3949	2.565	33.35	1.12	0.1083	0.397	0.667
550	0.3591	2.59	35.64	1.14	0.1334	0.431	0.655
600	0.3216	2.619	37.48	1.17	0.1612	0.468	0.639
650	0.2818	2.658	38.89	1.19	0.1912	0.508	0.619
700	0.2418	2.708	39.89	1.21	0.2237	0.550	0.594

* De: Analysis of Heat & Mass Transfer por Eckert & Drake. Copyright 1972 por McGraw-Hill, Inc. Usado con autorización de McGraw-Hill, Inc.

APENDICE C-2. Valores de propiedades para metales (Sistema de Unidades SI)

Metal	Propiedades a 20°C				Temperatura ambiente, a 30°C										
	ρ kg/m ³	γ _s T kg/K	E N/m ²	α 1/K	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
					(100 F)	(150 F)	(200 F)	(250 F)	(300 F)	(350 F)	(400 F)	(450 F)	(500 F)	(550 F)	(600 F)
Aluminio															
Puro	2 700	0 895	70	23	215	202	188	175	168	159	150	142	135	128	122
60% (Magnesio) (Al-Mg) (1.0-1.2%) (Al-Mg)	2 700	0 895	70	23	220	208	194	181	172	163	155	147	140	133	127
50% (Magnesio) (Al-Mg) (0.5-0.7%) (Al-Mg)	2 700	0 895	70	23	225	213	200	187	178	169	161	153	146	139	133
20% (Magnesio) (Al-Mg) (0.1-0.2%) (Al-Mg)	2 700	0 895	70	23	230	218	205	192	183	174	166	158	151	144	138
10% (Magnesio) (Al-Mg) (0.05-0.1%) (Al-Mg)	2 700	0 895	70	23	235	223	210	197	188	179	171	163	156	149	143
Acero															
Puro	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
Hierro (Fe) (Fe) (0.008%) (Fe)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
Hierro fundido (Fe) (0.008%) (Fe)	7 070	0 172	150	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
Acero al carbono (Fe-C)															
Carbono (Fe-C) (0.008%) (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
1.0% (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
1.5% (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
2.0% (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
3.0% (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
4.0% (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
5.0% (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
6.0% (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
7.0% (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
8.0% (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
9.0% (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
10.0% (Fe-C)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118

Metal	Propiedades a 20°C				Temperatura ambiente, a 30°C										
	ρ kg/m ³	γ _s T kg/K	E N/m ²	α 1/K	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
					(100 F)	(150 F)	(200 F)	(250 F)	(300 F)	(350 F)	(400 F)	(450 F)	(500 F)	(550 F)	(600 F)
Acero inoxidable (Fe-Cr)															
18% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
20% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
25% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
30% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
35% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
40% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
45% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
50% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
55% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
60% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
65% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
70% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
75% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
80% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
85% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
90% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
95% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118
100% Cr (Fe-Cr) (0.008%) (Fe-Cr)	7 850	0 193	200	12	207	195	183	172	162	153	145	137	130	124	118

9.6 DATOS DE DISEÑO DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS DE LA PLANTA DE COLUMNAS DE CARBPN ACTIVADO

DATOS DE DISEÑO DE LOS EQUIPOS MAS IMPORTANTES DE LA PLANTA DE COLUMNAS DE CARBON			
Equipo	Fabricante	Potencia HP	Especificación
CIRCUITO DE ADSORCION			
Columnas de carbón activado	Gold Quarry		Volumen 14.26 m ³ , diametro 2.44m, altura 3.05 m, material acero al carbono
Zarandas de seperación	Derrick	2	Flujo 416 m ³ /hr, largo 1.22m, ancho 2.44 m
Bombas de transferencia	Sala	3	Flujo 11.4 m ³ /hr
Tanque de solución barren	Haug		Volumen 66.4 m ³ , acero al carbono
CIRCUITO DE DESORCION			
Tanque de soda cáustica	Haug		Volumen 5.09 m ³ , material acero al carbono
Calentador tubular	Jostek		Duty 2400 kw, soplador 7.5 kw
Intercambiador de calor	Jostek		Area de intercambio 55.4 m ² , modelo Sigma 66 SBL, diseño 1000 kpa
Columna de desorción	Simpson steel		Volumen 21.6 m ³ , acero inoxidable, 316, presión máxima 669.48 Kpa
CIRCUITO DE REGENERACION			
Horno de Regeneración	Lochhead Haggerty	3	Flujo 341 kg/hr, longitud 7.52m, diametro 0.92 m