



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DEL LAVADO ÁCIDO DEL CARBÓN ACTIVADO, PARA LA REDUCCIÓN DEL GAS CIANHÍDRICO EN LA PLANTA DE PROCESOS LA QUINUA” MINERA YANACocha S.R.L. CAJAMARCA - OCTUBRE 2015.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Juan Carlos Saldaña Rodríguez

Asesor:

Ing. Roberto Severino Gonzales Yana

Cajamarca – Perú

2016

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Juan Carlos Saldaña Rodríguez**, denominada:

“IMPLEMETACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DEL LAVADO ÁCIDO DEL CARBÓN ACTIVADO, PARA LA REDUCCIÓN DE GAS CIANHÍDRICO EN LA PLANTA DE PROCESOS LA QUINUA” MINERA YANACocha S.R.L. - OCTUBRE 2015.

Ing. Roberto Severino Gonzales Yana
ASESOR

Ing. José Alfredo Siveroni Morales
JURADO
PRESIDENTE

Lic. Aracelli Maribel Poémape Grados
JURADO

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León
JURADO

DEDICATORIA

A Dios, por ser nuestro creador, amparo y fortaleza, cuando más lo necesitamos, y por hacer palpable su amor a través de cada uno de los que nos rodeó.

A mis padres Martha y David que me han regalado el derecho de crecer, y que en este proceso han estado conmigo, deben saber, que son el motor de mi motivación. Siendo pilares en mí camino y así, forman parte de este logro que me abre puertas inimaginables en mi desarrollo profesional...

Los Amo

A mis hijos, Arturo, Andrea y Mica, quienes son mi fuente de inspiración; ellos son lo mejor que nunca me ha pasado, y han venido a este mundo para darme el último empujón para terminar este trabajo. Ellos son sin duda mi referencia para el presente y para el futuro.

A Anita por ser una luz durante esta etapa de mi vida brindándome incondicionalmente su amor, ternura, comprensión, entrega y dedicación.

Te Amo.

A mi hermana Ceci por ser el ejemplo de una hermana mayor y de la cual aprendí de aciertos y de momentos difíciles; a mi hermana Patty quien me enseñó la importancia del emprendimiento y valores y mi Vico que desde lo más alto siempre estará guiándonos a todos nosotros

Al ingeniero Roberto Gonzales por toda su colaboración y conocimiento brindado para nuestro proyecto

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis queridos Arturo, Andrea y Micaela que han estado siempre junto a mí, brindándome su apoyo incondicional y cuando más lo he necesitado.

Al amor de mi vida Anita, quien con su amor y paciencia me ha fortalecido y animado a seguir adelante en las buenas y en las malas.

A los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de mi camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración del presente trabajo.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	Error! Bookmark not defined.
1.1. Realidad problemática	Error! Bookmark not defined.
1.2. Formulación del problema.....	5
1.3. Justificación.....	5
1.4. Limitaciones	5
1.5. Objetivos	6
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	6
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	6
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes	7
2.2. Bases Teóricas	8
2.2.1. <i>Adsorción en columnas de carbón</i>	8
2.2.2. <i>Desorción en columnas de carbón</i>	10
2.2.3. <i>Lavado ácido del carbón activado</i>	10
2.2.4. <i>Químicos para la neutralización de aguas ácidas</i>	11
2.3. Definición de términos básicos	11
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....	17
3.1. Formulación de la hipótesis	17
3.2. Variables	17
3.3. Operacionalización de variables.....	17
CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL	19
4.1. Antecedentes de la empresa	19
4.2. Descripción del proceso de lavado ácido del carbón activado en MYSRL	23
4.3. Análisis del costo por pérdida de cianuro de sodio sin neutralización	25
4.4. Pruebas de laboratorio para el tratamiento de agua del lavado ácido	27

4.4.1.	<i>Caracterización del agua de lavado ácido</i>	27
4.4.2.	<i>Neutralización con solución de soda cáustica</i>	27
4.5.	Implementación del sistema de tratamiento de agua de lavado ácido	29
CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS.....		32
5.1.	Tipo de diseño de investigación.	32
5.2.	Material de estudio.....	32
5.2.1.	<i>Población</i>	32
5.2.2.	<i>Muestra</i>	32
5.2.3.	<i>Unidad de estudio</i>	32
5.3.	Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	32
5.3.1.	<i>Para recolectar datos</i>	32
5.3.2.	<i>Para determinar tamaño de muestra</i>	33
5.3.3.	<i>Para analizar información</i>	34
CAPÍTULO 6. RESULTADOS		35
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN.....		46
CONCLUSIONES.....		49
RECOMENDACIONES		51
REFERENCIAS.....		52
ANEXOS		54

ÍNDICE DE TABLAS

	<u>Página</u>
Tabla 1: Insumos para lavado ácido del carbón cargado	24
Tabla 2: Características químicas del carbón activado nuevo.....	24
Tabla 3: Pérdida de cianuro de sodio durante los 24 días.....	26
Tabla 4: Costo total por pérdida de cianuro de sodio.	26
Tabla 5: Resultados de la mezcla de solución cianurada con agua de lavado ácido neutralizada con solución de soda caustica.	28
Tabla 6: Costos de pérdida de cianuro de sodio y compra de soda caustica.	29
Tabla 7: Caudal (m^3/h), pH, fuerza de cianuro (ppm) de solución cianurada y generación de HCN (ppm) en la Planta de Procesos La Quinoa – MYSRL – Octubre 2015.	35
Tabla 8: Caudal de mezcla: caudal de salida total de agua ácida de tanques 1 y 2 (m^3/h), pH, de la Planta de Procesos La Quinoa – MYSRL – Octubre 2015.....	37
Tabla 9: pH de mezcla de salida del total de agua ácida de tanques 1 y 2 de la Planta de Procesos La Quinoa – MYSRL – Octubre 2015.....	38
Tabla 10: Fuerza de cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7 de la Planta de Procesos La Quinoa – MYSRL – Octubre 2015.....	39
Tabla 11: Generación de gas cianhídrico – HCN (ppm) de la Planta de Procesos La Quinoa – MYSRL – Octubre 2015.....	40
Tabla 12: Medidas de resumen de pH del agua de lavado ácido. Caudal de salida total de agua ácida tanque 1 y 2 (m^3/h), fuerza de cianuro (ppm) de solución cianurada del tren 7 y generación de gas cianhídrico (ppm) en la Planta de Procesos La Quinoa – MYSRL – Octubre 2015.	41
Tabla 13: Análisis de regresión y correlación del caudal de salida total de agua ácida de tanques 1 y 2 (m^3/h), pH del agua de lavado ácido, fuerza de cianuro (ppm), de la solución cianurada del tren 7 y generación de gas cianhídrico (ppm), la Planta de Procesos La Quinoa – MYSRL – Octubre 2015.....	42

Tabla 14: Generación de HCN antes y después de la aplicación de solución neutralizada, en la Planta de Procesos La Quinoa – MYSRL Octubre - 2015.	26
Tabla 15: Generación de gas cianhídrico (HCN). antes y después de la aplicación de solución neutralizada, en la Planta de Procesos La Quinoa – MYSRL Octubre - 2015.....	44
Tabla 16: Prueba de hipótesis de medias pareadas, para la generación de HCN, antes y después de la aplicación de soda caustica	45

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 01: Caudal de mezcla: caudal de salida del total de agua ácida de tanques 1 y 2 (m ³ /h) de la Planta de Procesos La Quinua – Minera yanacocha S.R.L. Octubre - 2015.	37
Grafico 02: pH de mezcla: pH de salida del total de agua ácida de tanque 1 y 2 de la Planta de Procesos La Quinua – Minera Yanacocha S.R.L Octubre - 2015.	38
Grafico 03: Fuerza de cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7 de la Planta de Procesos La Quinua – Minera Yanacocha S.R.L Octubre - 2015.	39
Grafico 04: Generación de gas cianhídrico – HCN (ppm) de la Planta de Procesos La Quinua – Minera Yanacocha S.R.L Octubre - 2015.	40
Grafico 05: generación de HCN antes y después de la aplicación de solución neutralizada, en la Planta de Procesos La Quinua – Minera Yanacocha S.R.L Octubre - 2015.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	<u>Página</u>
Figura N° 1: Diagrama de Ishikawa de la perdida de cianuro de sodio en soluciones cianuradas en Planta La Quinoa	2
Figura N° 2: Diagrama de Ishikawa de la generación de gas cianhídrico en Planta La Quinoa	3
Figura N° 3: Diagrama de Ishikawa del riesgo a la salud en Planta La Quinoa.....	4
Figura N° 4: Diagrama de flujo de lavado ácido.	8
Figura N° 5: Esquema de la estructura interna de una partícula de carbón activado	9
Figura N° 6: Circuito de adsorción del tren 7 CIC.....	9
Figura N° 7: Circuito de desorción N° 2.	10
Figura N° 8: Tipos de poros formados en el carbón activado.....	11
Figura N° 9: Equilibrio CN ⁻ /HCN disueltos en función del pH.	13
Figura N° 10: Diagrama potencial – pH para el sistema CN - H ₂ O a 25 °C.	14
Figura N° 11: Diagrama de las operaciones y procesos en MYSRL.....	20
Figura N° 12: Diagrama de flujo de desorción y lavado ácido – La Quinoa.....	22
Figura N° 13: Circuito de lavado ácido No 1.	23
Figura N° 14: Circuito de lavado ácido y adsorción CIC en Planta de Procesos LQ.....	25
Figura N° 15: Circuito experimental de la neutralización del agua de lavado ácido.....	30
Figura N° 16: Diseño de tuberías y codos.....	31

RESUMEN

El siguiente informe consiste en la implementación de un sistema de tratamiento de aguas de lavado ácido del carbón activado para la reducción del gas cianhídrico en la Planta de Procesos La Quinua de Minera Yanacocha SRL. El sistema de tratamiento se implementó a la salida del agua de lavado ácido, en la cual éstas serán neutralizadas con solución caústica preparada al 10 % con una dosificación de 100 ml de solución caústica por cada m³ de agua de lavado ácido hasta obtener rangos de pH entre 7.514 a 8.987 y posteriormente esta solución neutralizada ingresará a la columna 2 del tren 7 de la Planta de adsorción de columnas de carbón. El sistema de tratamiento se implementará a razón de una inversión de US \$ 2,944.50 utilizando un tanque que estaba en stand by junto con otros materiales y que tendrá como empresa a cargo de la implementación SYMI SRL Soluciones y Mantenimiento Integral.

El proceso de tratamiento del agua de lavado ácido se llevó a cabo, mediante pruebas de laboratorio, los cuales consistieron en obtener una dosificación adecuada para neutralizar esta agua y llevarlo a un pH básico. Los criterios para la implementación de dicho sistema fueron basados en el rediseño del circuito convencional para lograr así las necesidades que presenta la empresa. Se logró reducir en un 92.20%, la generación de éste gas, en el circuito de adsorción de columnas de carbón, indicándose así que el sistema de tratamiento de agua es satisfactorio.

Se analizó el impacto económico y financiero, que generaría la mejora de la gestión de la calidad de la solución acida, en el proceso de lavado ácido del carbón activado, lo que generaría un ahorro de 1'100,121.60 US\$ por año a la empresa, mejorando así mismo la gestión de la calidad del proceso de lavado ácido.

ABSTRACT

The following report is the implementation of a water treatment system activated acid washing to reduce cyanide gas in Process Plant La Quinoa Minera Yanacocha SRL coal. The treatment system was implemented to the water outlet of acid washing, in which they will be neutralized with caustic solution prepared at 10% with a dosage of 100 ml of caustic solution per m³ of acid water washing until pH ranges between 7.514-8.987 and then enter the neutralized solution to column 2 of the 7 train Plant carbon adsorption columns. The treatment system will be implemented at the rate of an investment of US \$ 2944.50 using a tank that was on standby with other materials and will have as company in charge of the implementation SYMI SRL Integral Solutions and Maintenance.

The process water treatment acid wash was performed by laboratory tests, which consisted of obtaining an adequate dosage to neutralize this water and bring to a basic pH. The criteria for the implementation of this system were based on the redesign of the conventional circuit to achieve the needs presented by the company. Was reduced in 92.20%.The generation of this gas in the circuit carbon adsorption columns, thus indicating that the water treatment system is satisfactory.

The economic and financial impact that would generate improved quality management of the acid solution in the acid wash process of activated carbon was analyzed, generating savings of US \$ per year 1'100,121.60 the company, it thus improving the quality management of acid washing process.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Para la identificación de los problemas actuales en planta de procesos La Quinua de Minera Yanacocha S.R.L, se observaron todas las etapas del proceso productivo de la recuperación de oro por medio del carbón activado por lo que se tuvo que entrevistar a los operadores, supervisores de turno, metalurgistas y jefe general para poder contar con una gran variedad de datos e información sobre los problemas que se les presenta al momento de realizar la tarea de lavado ácido del carbón activado, el cual al ser derivado hacia el proceso de adsorción genera gas cianhídrico y pérdida de cianuro en el proceso de adsorción. Con los datos e información recolectada se ha logrado determinar que los problemas críticos en el proceso de lavado ácido son los siguientes:

Problema 1: Pérdida de cianuro de sodio.

La pérdida de cianuro de sodio se presenta al momento que la solución ácida producto del lavado ácido es derivada hacia el proceso de adsorción. Esta pérdida del reactivo químico se puede observar cada vez que se realiza el lavado ácido del carbón activado.

La solución ácida producto del lavado ácido presenta un pH de salida entre 1.92 a 4.05, dependiendo de la cantidad de ácido que se utilice para realizar el lavado del carbón activado. Esta solución con bajo pH al tener contacto con la solución auro cianurada que circula por el circuito de adsorción, degrada al cianuro presente en dicha solución la cual se encuentra con una concentración de cianuro entre 50 y 70 ppm.

Problema 2: Generación de gas cianhídrico.

El proceso de lavado ácido genera una solución ácida que al contacto con la solución auro cianurada del tren 07 genera gas cianhídrico. Al existir contacto entre las soluciones auro cianuradas, las cuales son alcalinas y las soluciones ácidas se procede a generar gas cianhídrico.

Problema 3: Riesgo a la salud por parte del personal que labora en dicha área.

La generación de gas cianhídrico genera un alto riesgo para la salud del personal que labora en el área de procesos la Quinua de MYSRL.

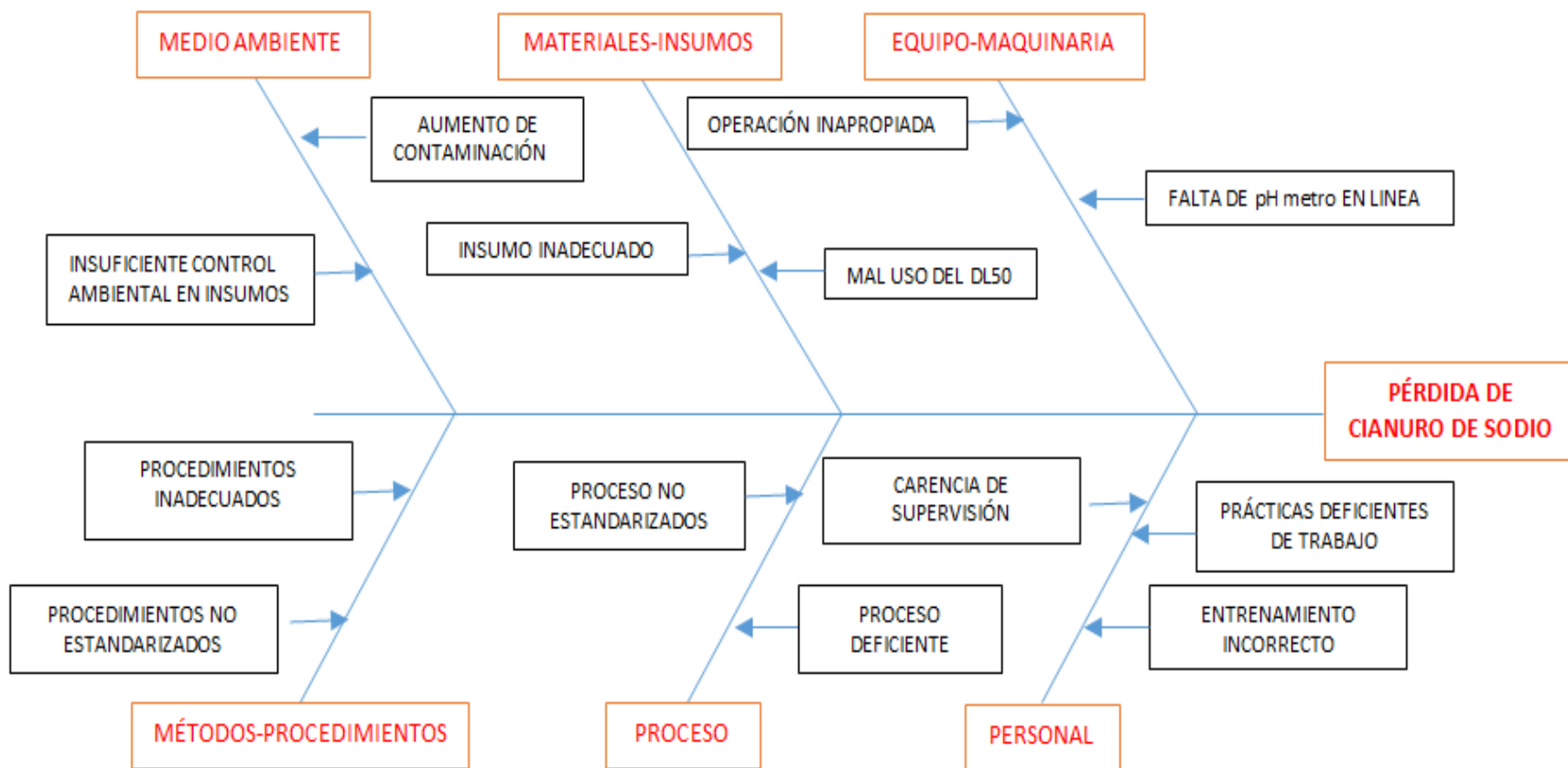


Figura N° 01: Diagrama de Ishikawa de la perdida de cianuro de sodio en soluciones cianuradas en Planta La Quinoa.

Fuente: Empresa Minera Yanacocha SRL.



Figura N° 2: Diagrama de Ishikawa de la generación de gas cianhídrico en Planta La Quinoa.

Fuente: Empresa Minera Yanacocha SRL.

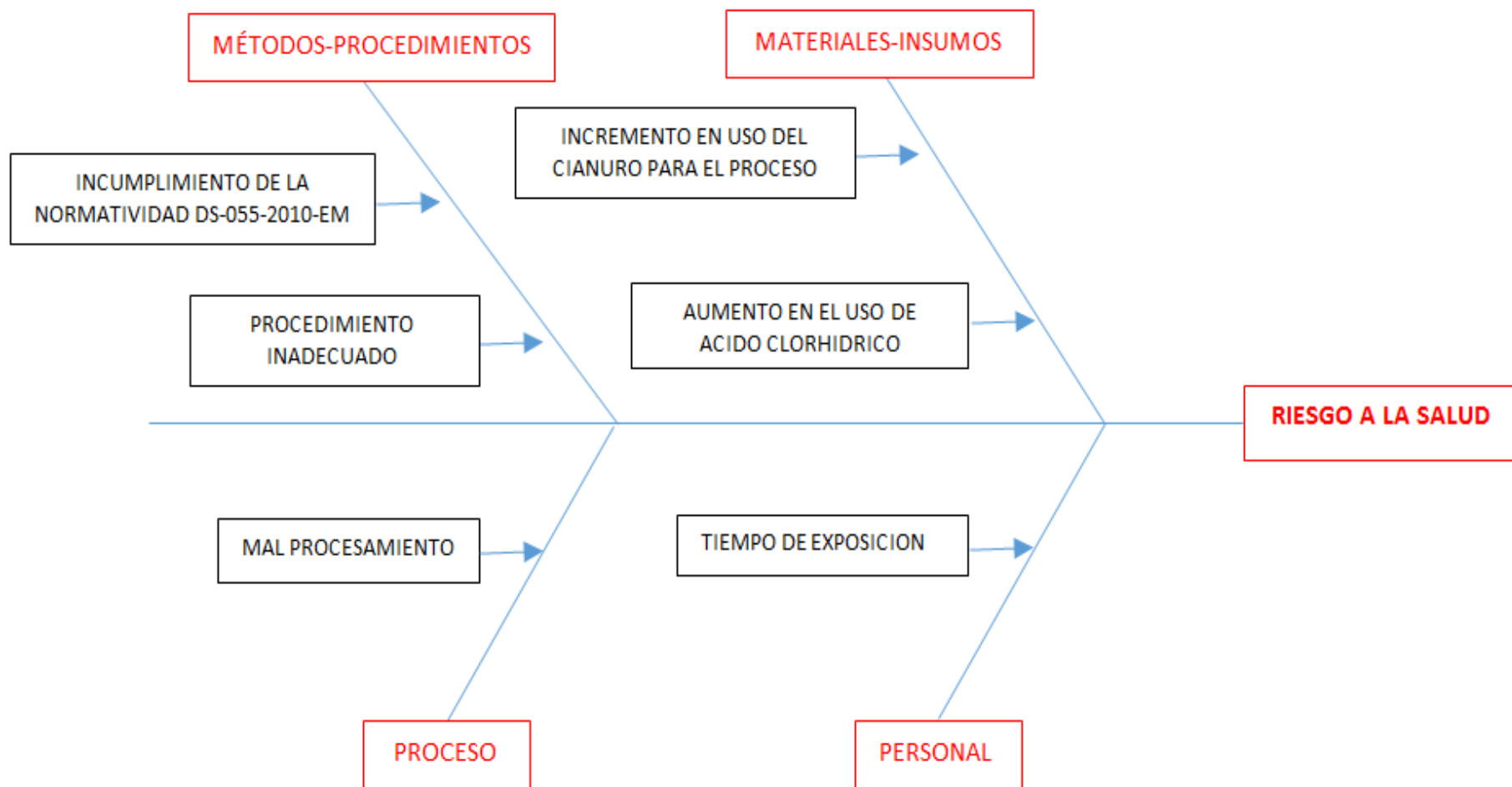


Figura N° 3: Diagrama de Ishikawa del riesgo a la salud en Planta La Quinua.

Fuente: Empresa Minera Yanacocha SRL.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo la implementación de un sistema de tratamiento de aguas del lavado ácido del carbón activado, reducirá el gas cianhídrico en la planta de procesos La Quinua? Minera Yanacocha SRL. Cajamarca - Octubre 2015.

1.3. Justificación

El proceso de lavado ácido del carbón activado utiliza ácido clorhídrico, el cual al ser derivado hacia el proceso de adsorción genera gas cianhídrico y pérdida de cianuro en el proceso de adsorción. El uso de solución cáustica en el tratamiento del agua producto del lavado ácido, permite que esta agua ácida incremente su pH hasta convertirlo en solución alcalina para de esta manera evitar los problemas antes mencionados, por la mezcla de soluciones ácidas y cianuradas. Además la neutralización de esta agua ácida es importante porque reduce los impactos ambientales producto de la mezcla de soluciones ácidas y cianuradas.

En la presente investigación se propone validar:

- La adición de solución cáustica en el proceso de lavado ácido del carbón activado, aumenta el pH del agua ácida producto del lavado del carbón convirtiéndola en una solución básica. De esta manera no tendremos pérdida de cianuro de sodio, generación de gas cianhídrico, ni riesgos a la salud del personal al momento del contacto con la solución cianurada con las soluciones ácidas productos del lavado ácido.
- Dar a conocer cuán importante es tener una solución básica luego del lavado ácido para descargarla hacia soluciones cianuradas.
- Aplicar los conocimientos de mejora continua y mejora en la calidad productiva reduciéndose los costos, eliminando impactos ambientales, se controla los riesgos a la salud que esta reacción genera.

1.4. Limitaciones

- Resistencia al cambio por parte del personal de la empresa al momento de implementar el nuevo diseño.
- La falta de información sobre este proceso en otras plantas similares fuera de la corporación.

- Escasa disponibilidad de equipos para realizar las mediciones y pruebas en calidad de aire.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Implementar un sistema de tratamiento de aguas del lavado ácido del carbón activado, para la reducción del gas cianhídrico en la planta de procesos La Quinoa de Minera Yanacocha SRL - Cajamarca.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la gestión del proceso del lavado ácido en el área de procesos la Quinoa de MYSRL.
- Determinar si el pH del agua de lavado ácido, Caudal de Salida Total de Agua Ácida del Tanque 1 y 2 (m^3/h) y la Fuerza de Cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7; influyen en la generación del gas cianhídrico (ppm), teniendo como base los parámetros operacionales del proceso de lavado ácido, proceso de adsorción y decreto supremo N° 055-2010-EM (Límites de exposición ocupacional para agentes químicos).
- Aplicar la metodología del control de pH para neutralizar la solución de ácido clorhídrico utilizando solución de soda cáustica.
- Demostrar una reducción del impacto a la calidad del aire y pérdida de cianuro por generación de gas cianhídrico.
- Implementar un sistema de dosificación de solución cáustica al proceso de lavado ácido mediante una modificación al diseño actual.
- Analizar el impacto económico y financiero que genera la mejora de la gestión de la calidad de la solución ácida en el proceso de lavado ácido del carbón activado.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La utilización del carbón activado para recuperar oro y plata a partir de soluciones de cianuración fue patentado por Jhonston en 1890 (TOMALA, 1998. pág. 65) pero no recibió mucha atención hasta 1952, para este año se implementó la primera técnica eficiente de recuperación de oro, de manera que el carbón podría ser regenerado y reutilizado en el proceso de adsorción, desplazando al proceso Merrill-Crowe, que provocaba un elevado consumo de cinc en la precipitación y generaba reacciones muy sensibles en presencia de impurezas en la solución de cianuración. (Navarro, Vargas & Aguayo, 2009. Pág. 16).

La reactivación química o lavado ácido, se utiliza principalmente para remover las incrustaciones de carbonatos de calcio. Se puede utilizar cualquier tipo de ácido fuerte, pero el clorhídrico es el más común. Se prepara la solución de alrededor de 5% en peso, y el carbón se inunda en ésta. El proceso de disolución de las sales de calcio es lento. El tiempo exacto varía dependiendo de qué tan envenenado se encuentra el carbón, pero puede estar entre 10 y 40 horas. Para lograr mayor rapidez en el proceso, se calienta la solución a 60 – 70°C. Con esto el tiempo puede reducirse a un par de horas. (Misari, F.S. 1993).

En las plantas sudafricanas, este lavado ácido se realiza previo a la desorción del carbón, usando ácido clorhídrico diluido, al 3% HCl, y caliente, a 90°C. Previo al lavado con ácido, es cuidadosamente enjuagado con agua para evitar la formación de gas cianhídrico HCN^- . En estos casos, además de carbonatos y sulfatos de calcio se remueve algo de otros metales cianurados que se puede haber adsorbidos en el carbón. El control de las soluciones ácidas producto de estos lavados se neutraliza utilizando lechada de cal o de lo contrario recirculando la solución ácida para realizar otro lavado. En cambio en las plantas americanas este lavado ácido se realiza después de la desorción y antes de activación térmica. (Yannopoulos, J.C. 1991).

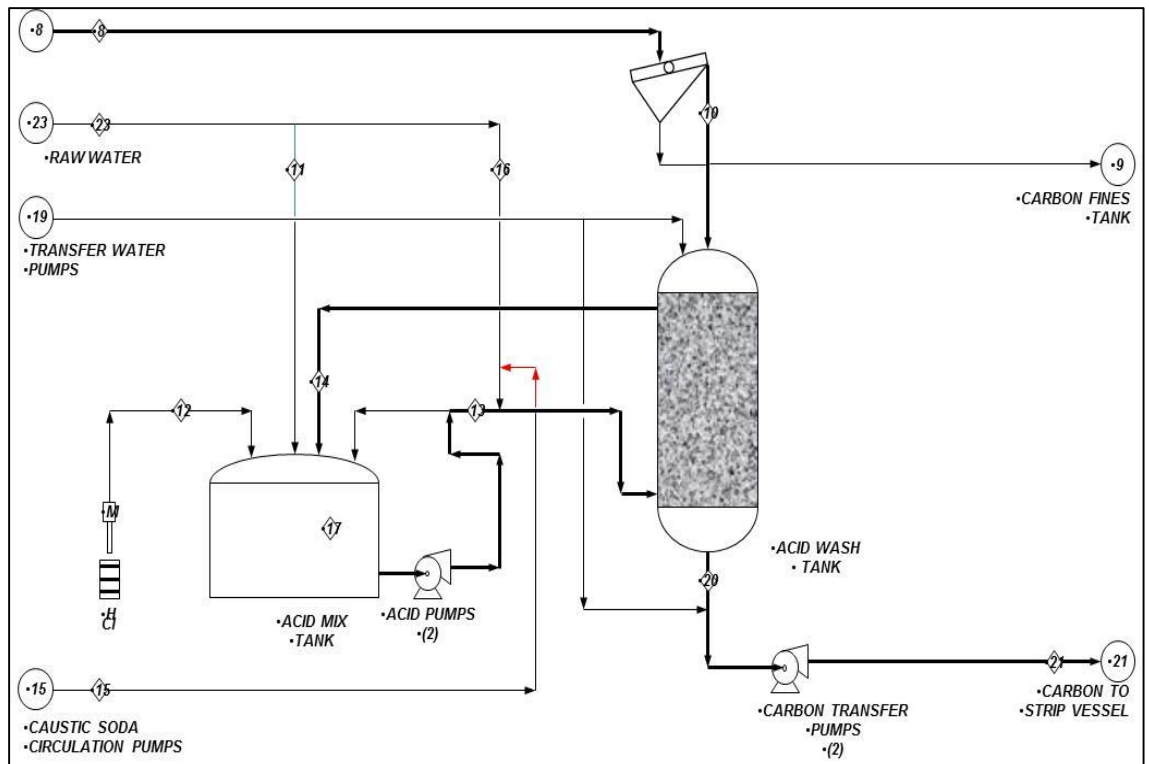


Figura N° 4: Diagrama de Flujo de Lavado Ácido
Fuente: Corporación Newmont. Planta de Procesos.

2.2. Bases Teóricas

La presente investigación se basa en los fundamentos de los procesos químicos que están relacionados al lavado ácido, para poder implementar el tratamiento de estas aguas con soda cáustica en un rango de pH de la solución ácida.

2.2.1 Adsorción en Columnas de Carbón

El uso del carbón activado en la metalurgia extractiva del oro ha aumentado fuertemente en las últimas décadas como proceso de concentración y purificación de soluciones obtenidas en la etapa anterior de cianuración. El carbón activado puede adsorber los complejos cianurados de oro y plata. Minera Yanacocha (2009)

La adsorción es el proceso donde las moléculas cianuradas de oro se concentran en la superficie del carbón activado. Estas son adsorbidas en los poros del carbón activado. La forma o mecanismo bajo las cuales los complejos de oro-cianuro y plata-cianuro se adsorben en

el carbón activado puede ser de tipo física o química, ello depende de las condiciones experimentales de operación, la materia prima del carbón y las condiciones de activación. Industrialmente ambos mecanismos ocurren en forma simultánea.

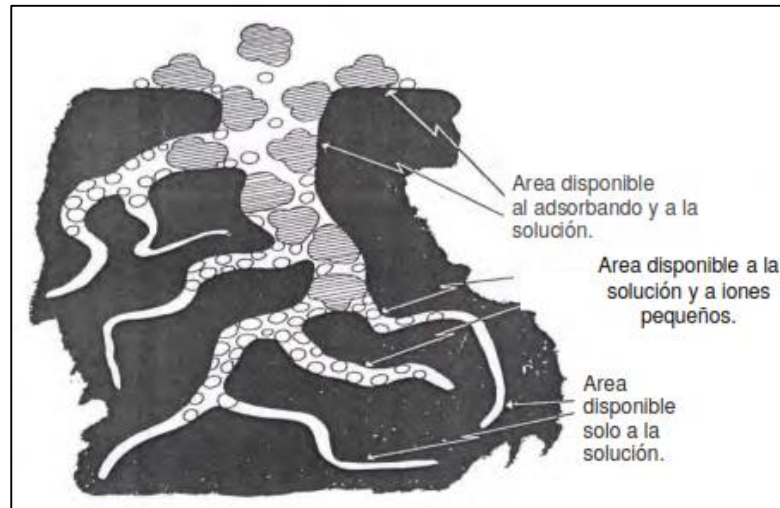


Figura N° 5: Esquema de la estructura interna de una partícula de carbón activado.
Fuente: Carbotecnia.info

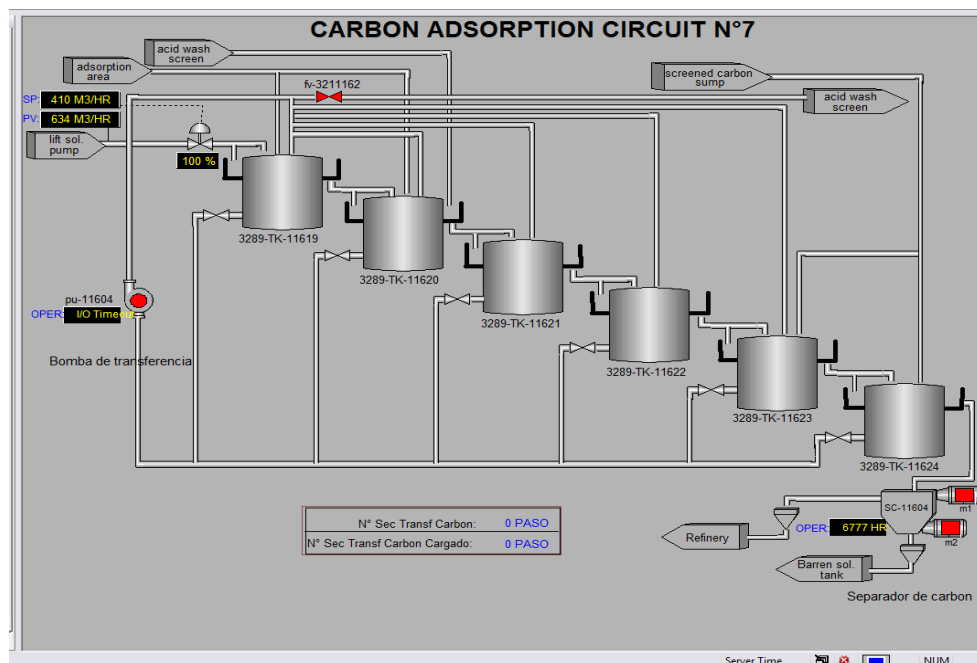


Figura N° 6: Circuito de adsorción del tren 7 CIC.
Fuente: MYSRL – Procesos La Quinua.

2.2.2 Desorción en columnas de Carbón

La desorción en la Planta de columnas de carbón La Quinua en MYSRL se realiza según el Proceso Anglo Americano, el cuál fue desarrollado por R.J, Davidson de la Anglo American Research Laboratories.

Este proceso comprende el pre-acondicionamiento del carbón cargado con una solución de 1% de NaOH más 5% NaCN durante media hora y luego se procede a la desorción del carbón usando 5 lechos de volúmenes de agua caliente (110°C) a una velocidad de flujo de 3 lechos de volumen por hora. La alta temperatura de operación origina una presión de operación de 50 a 100 Kpa. El efecto de usar alta presión para la desorción es reducir el consumo de reactivo, inventario de carbón y el tamaño de la sección de desorción. (MISARI., 1993. Págs. 235-314).

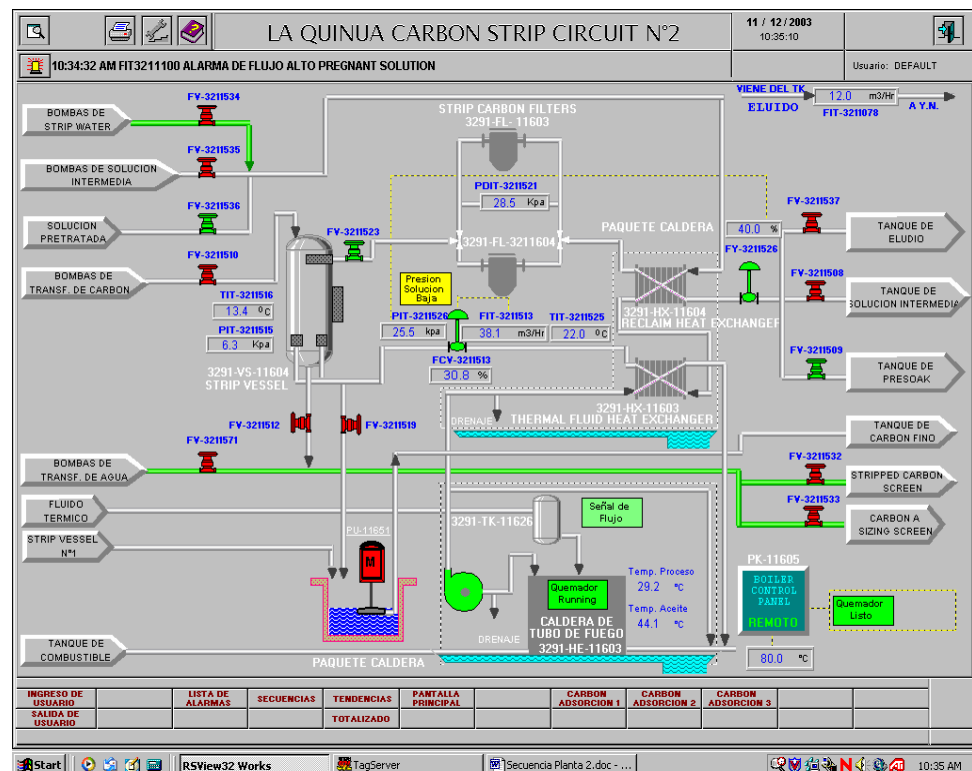


Figura N° 7: Circuito de desorción No. 2.
Fuente: MYSRL – Procesos La Quinua.

2.2.3 Lavado Ácido del carbón activado

El lavado ácido es la etapa que consiste en la eliminación de los carbonatos incrustados en el carbón durante la etapa de adsorción. Estos

carbonatos adsorbidos por el carbón, ocupan los poros, mesoporos y microporos del carbón disminuyendo la eficiencia de adsorción.

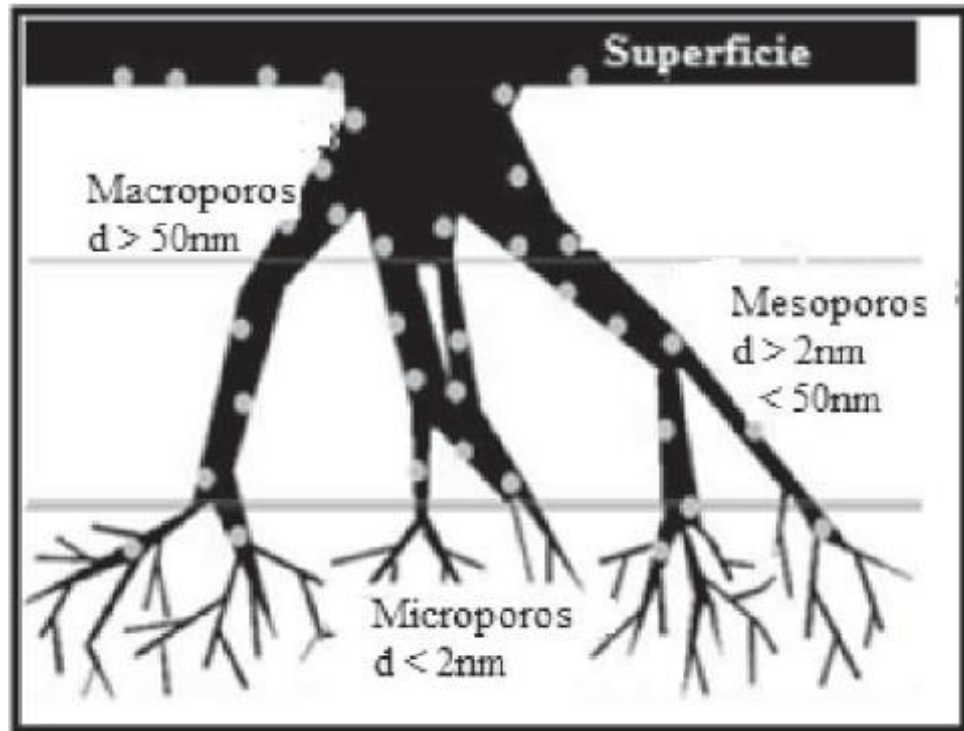


Figura N° 8: Tipos de poros formados en el carbón activado
Fuente: Carbotecnia.info

El lavado ácido para la eliminación de los carbonatos se puede realizar en frío o en caliente. Algunas plantas utilizan el ácido nítrico, en nuestro caso se usa el ácido clorhídrico al 33% de concentración.

2.2.4 Químicos para la neutralización de aguas ácidas

Se puede neutralizar la acidez usando lechada de cal, pero como la cal tiene carbonatos, éstos iones nuevamente serán adsorbidos en los poros del carbón activado y de acuerdo a este fenómeno, la idea no prosperó, y se optó por usar soda cáustica, de fácil disolución.

2.3. Definición de términos básicos

Ácido Clorhídrico

Producto químico incoloro, algo más pesado que el aire y muy corrosivo, no inflamable. Se extrae de las sal común y suele emplearse disuelto en agua, que lo

absorbe en gran cantidad; ataca a la mayor parte de los minerales. Christen, Hans Rudolf (1977)

Ácido cianhídrico

También conocido como cianuro de hidrógeno, gas cianhídrico o ácido prúsico, es un compuesto químico con fórmula molecular HCN. Al disolver el compuesto de cianuro de hidrógeno en el agua, se produce el ácido cianhídrico. El ácido cianhídrico cuando se encuentra en estado puro y en condiciones normales, se encuentra en estado líquido, y no presenta coloración. Es un compuesto peligroso, pues es altamente venenoso y volátil. Este ácido puede llegar a ser letal, pues tan sólo 300 ppm presentes en el aire puede causar la muerte a una persona en pocos minutos. La gran toxicidad que presenta este compuesto es debido al ion cianuro (CN⁻), el cual afecta a la respiración de las células, inhibiéndola. Es incluso más tóxico de lo que puede llegar a ser el monóxido de carbono a nivel de la respiración.

De acuerdo al DS-055-2010-EM, el LMP del cianuro de hidrogeno es de 4.7 ppm (ver Anexo 4, pág. 63).

Adsorción del carbón activado

La adsorción del oro con carbón activado de soluciones clarificadas o no clarificadas en columnas rellenas de carbón activado se realiza en múlti etapas, alcanzado extracciones muy satisfactorias de oro. Christen, Hans Rudolf (1977)

Agua ácida

Cuando el agua tiene la concentración de iones hidrógeno (H⁺) mayor que la de iones hidróxilo (OH⁻). La acidez de un agua corresponde a la presencia de anhídrido carbónico libre, ácidos minerales y sales de ácidos fuertes y bases débiles. Christen, Hans Rudolf (1977)

Carbón activado

El carbón activado tiene la capacidad de adsorber los complejos de cianuro de oro de efluentes de cianuración no clarificados, por lo tanto elimina las etapas de separación líquido-sólido.

El carbón activado es también capaz de absorber una gran variedad de sustancias orgánicas y constituyentes orgánicos, reduciendo así la capacidad de adsorción del carbón de metales preciosos. Christen, Hans Rudolf (1977)

Cianuro de sodio

Es una sal venenosa cuya característica física es la de un sólido de color blanco y en forma de briquetas o gránulos. Es muy estable en estado seco pero en estado húmedo se descompone lentamente, liberando gases de ácido cianhídrico (HCN). En contacto con sustancias ácidas se forma gran cantidad de gas HCN que es invisible, de olor débil, inflamable y venenoso. Christen, Hans Rudolf (1977)

Cianuro libre

Se define como la forma de cianuro molecular (HCN) e iónica (CN⁻) liberado en solución acuosa por la disociación de compuestos cianurados simples o complejos. En solución acuosa, las dos formas de cianuro libre se encuentran en equilibrio según la reacción (1), dependiendo de su proporción con respecto al pH (Figura No 10).

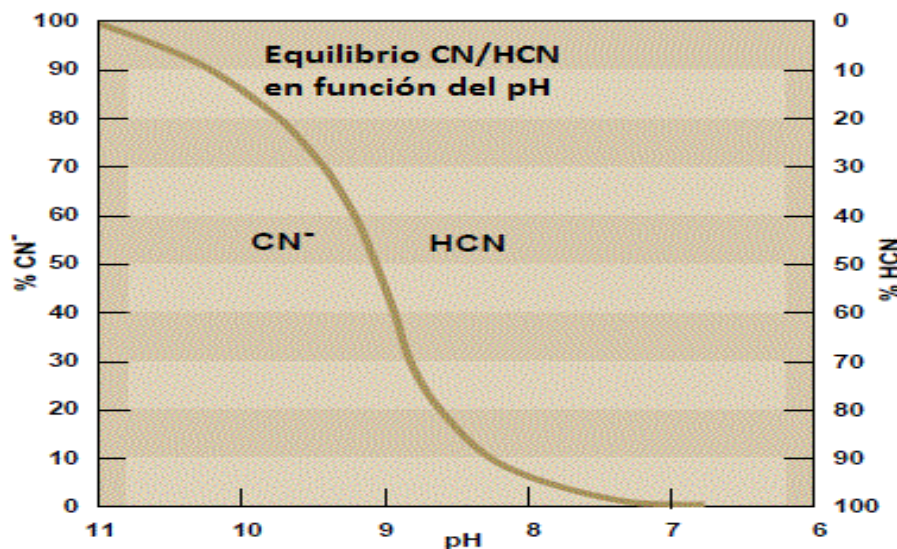


Figura N° 9. Equilibrio de CN⁻/HCN disueltos en función del pH.
Fuente: Esteban Miguel y Domic Mihovilovic (2001).

En el caso de la lixiviación de oro con cianuro, es útil analizar la estabilidad termodinámica de este compuesto en medio acuoso. De acuerdo a la figura 11,

a valores de pH establecidos entre 10.5 y 12.5, el proceso de lixiviación transcurre entre las zonas de estabilidad del CN^- y el CNO^- . De esta manera se tiene el cianuro libre necesario y requerido para que las reacciones de reducción de los complejos cianurados metálicos tengan lugar.

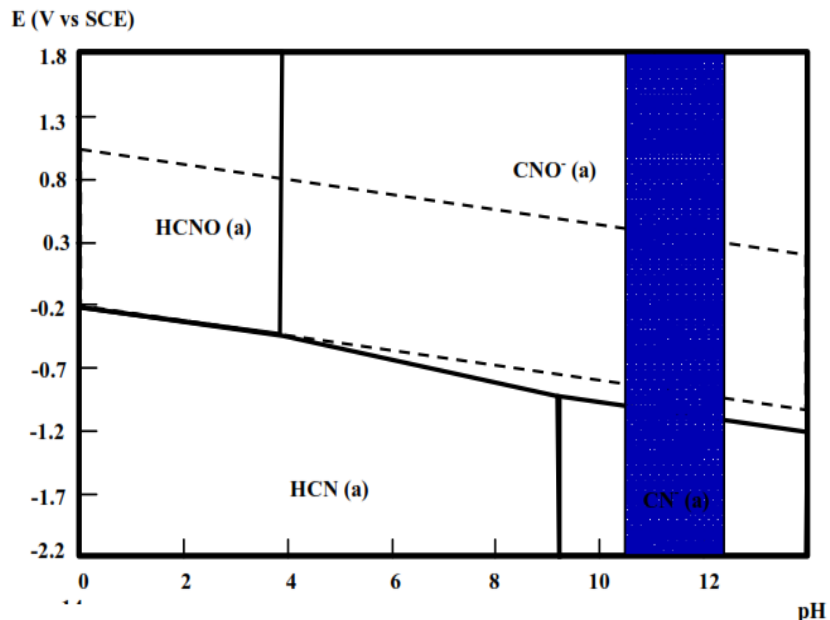


Figura N° 10. Diagrama Potencial-pH para el sistema $\text{CN-H}_2\text{O}$ a 25°C .
 Fuente: Esteban Miguel y Domic Mihovilovic (2001).

Coefficiente de Asimetría

Es aquel que nos muestra el grado de deformación o sesgo de una distribución de frecuencias en el eje X. Una distribución puede presentar una de las siguientes formas: Asimetría Positiva, Asimetría Negativa. Walpole y Myers (2007)

Coefficiente de Correlación

Es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas. El valor del Coeficiente de Correlación puede ir de -1.00 a + 1.00, el signo indica la dirección de la relación entre las variables X y Y. Walpole y Myers (2007)

Coefficiente de Determinación

Es un índice estadístico que se calcula a partir del cuadrado del Coeficiente de Correlación, el cual indica la proporción de la varianza de Y explicada por la variabilidad de la variable o variables Xs. Walpole y Myers (2007)

Coeficiente de Variación

Es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. Puesto que el coeficiente de variación no se basa en unidades, se puede utilizar en lugar de la desviación estándar para comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias. Walpole y Myers (2007)

Fuerza de cianuro

Es la concentración de la solución de cianuro. La solubilidad del oro en una solución de CN aumenta al pasar de las soluciones diluidas a las concentradas. La solubilidad es muy baja con menos de 0.005% NaCN, crece rápidamente cuando contiene 0.01% NaCN y después lentamente, llegando al máximo cuando contiene 0.25% NaCN. La proporción más eficaz es de 0.05 a 0.07% NaCN. La concentración usual de CN para el tratamiento de menas de oro es de 0.05% NaCN y para menas de plata de 0.3%. Para concentrados de oro-plata, la fuerza de NaCN está entre 0.3 - 0.7%.

Hoja de seguridad del material (MSDS)

Documento que proporciona la información relacionada con materiales y químicos peligrosos. Por sus siglas en inglés: Material Safety Data Sheet, "Hojas de Datos de Seguridad del Material peligroso".

Implementación

Es poner en funcionamiento, aplicar los métodos y medidas necesarias para llevar algo a cabo.

Lavado ácido del carbón activado

Es la remoción de carbonatos y otras sustancias que evitan que el carbón cumpla la función de adsorber oro.

Media Aritmética o Promedio

Es aquella medida que se obtiene al dividir la suma de todos los valores de una variable por la frecuencia total. En palabras más simples, corresponde a la suma de un conjunto de datos dividida por el número total de dichos datos. Devore (2008)

Mediana

Es el valor central de un conjunto de valores ordenados en forma creciente o decreciente. Dicho en otras palabras, la Mediana corresponde al valor que deja igual número de valores antes y después de él en un conjunto de datos agrupados. Devore (2008)

Medidor de gas

Un medidor de gas es un dispositivo mecánico para medir y registrar automáticamente cantidades de gas.

Moda

Es la medida que indica cual dato tiene la mayor frecuencia en un conjunto de datos; o sea, cual se repite más. Devore (2008)

pH

El **pH** es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. En condiciones de neutralidad el pH es igual a 7. El agua con un pH menor de 7 se dice que es un agua ácida y en cambio se dice que es básica si tiene un pH mayor que 7. Christen, Hans Rudolf (1977)

Soda cáustica

La soda cáustica o sosa cáustica es el hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido sódico, es un hidróxido cáustico usado en la industria. Christen, Hans Rudolf (1977)

Solución ácida

Cuando en una solución la concentración de iones hidrógeno (H^+) es mayor que la de iones hidroxilo (OH^-), se dice que es ácida.

Solución cáustica

Cuando en una solución la concentración de iones hidroxilo (OH^-) es mayor que la de iones hidrógeno (H^+), se dice que es ácida.

Solución cianurada

Es el cianuro de sodio disuelto en agua.

Soluciones Auro Cianuradas

Son soluciones cianuradas con contenidos de oro el cual ha sido recuperado en el proceso de lixiviación así como en el proceso de adsorción del carbón activado.

Varianza

La varianza es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones respecto a la media de una distribución estadística. Devore (2008)

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Formulación de la Hipótesis

La implementación de un sistema de tratamiento de aguas del lavado ácido del carbón activado, reducirá de forma **altamente significativa**, el gas cianhídrico en la planta de procesos La Quinoa, teniendo en cuenta los aspectos ambientales relevantes y la capacidad técnica de la planta.

3.2. Variables

3.2.1. Variable dependiente

Generación de gas cianhídrico.

3.2.2. Variables independientes

X1: pH Salida Total Agua Ácida de Tanque 1 y 2

X2: Caudal de Salida Total de Agua Ácida de Tanque 1 y 2

X3: Fuerza de cianuro de la solución cianurada del tren 7 inicio.

3.3. Operacionalización de variables

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Generación de gas cianhídrico.	El gas cianhídrico es el fluido gaseoso puro que emana como producto de la disolución del compuesto de cianuro de hidrógeno en el agua.	Monitoreo de gas cianhídrico.	Puntuación promedio de generación de gas cianhídrico. (Límite máximo permisible a exposición: 4.70 ppm, según DS 055 - 2010 – EM)

VARIABLES INDEPENDIENTES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
pH salida total de agua ácida del tanque 1 y 2	Es la medida de la acidez a la salida donde se unen las aguas ácidas de los tanques 1 y 2.	Monitoreo del pH de la salida total agua ácida de los tanques 1 y 2	Puntuación promedio del pH de la salida total agua ácida de los tanques 1 y 2
Caudal de salida total de agua ácida del tanque 1 y 2	Es la medida del caudal a la salida donde se unen las aguas ácidas de los tanques 1 y 2.	Monitoreo del caudal de salida total de agua ácida de los tanques 1 y 2	Puntuación promedio del caudal de salida total de agua ácida de los tanques 1 y 2
Fuerza de cianuro de la solución cianurada del tren 7 inicio.	Es la concentración de la solución de cianuro al ingreso del tren 7 en circuito de adsorción de CIC.	Monitoreo de la fuerza de cianuro de la solución cianurada del tren 7 - inicio.	Puntuación promedio de la fuerza de cianuro de la solución cianurada del tren 7 - inicio.

CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL

4.1. Antecedentes de la Empresa.

Minera Yanacocha S.R.L (MYSRL) es una empresa minera que desarrolla sus operaciones en la Provincia y Departamento de Cajamarca, en una zona que se ubica a aproximadamente 32 km al norte de la ciudad de Cajamarca, por carretera. La propiedad de Minera Yanacocha cubre una extensión de aproximadamente 20,064.27 Ha, con elevaciones que varían entre los 3 500 y los 4180 msnm (MWH Perú S.A., 2009. pág.2), en los Distritos de La Encañada, Baños del Inca y Cajamarca.

Minera Yanacocha S.R.L. es dueña y operadora de varios tajos abiertos en el distrito minero de Yanacocha. La compañía minera utiliza métodos de minado por tajo abierto para la extracción del mineral oxidado, que es posteriormente transportado a las pilas de lixiviación para la recuperación de oro, plata y producción final en las Plantas de Carbón, Merrill Crowe - Fundición y Refinería hasta obtener el doré. Para las operaciones, MYSRL dispone de: tajos abiertos, depósitos de desmonte, pads (pilas) de lixiviación, plantas de procesamiento, fundición y refinerías principalmente. Todos sus componentes primordiales, para una mejor comprensión, se han agrupado en seis (06) áreas denominadas: Área La Quinua, Área Carachugo, Área Yanacocha, Área Maqui Maqui, Área Cerro Negro y Área China Linda (MWH Perú S.A., 2009).

Los minerales extraídos de los tajos mediante un proceso secuencial de perforación, voladura, acarreo y transporte, es colocado en las cuatro canchas de lixiviación contiguas a los tajos en mención. Este mineral no requiere de molienda o tratamiento previo, en vista de que está compuesto por óxidos, material poroso y material de fácil percolación (MWH Perú S.A., 2009).

Como resultado de la lixiviación, la solución rica impregnada se coloca en pozas contiguas a cada cancha de lixiviación y desde allí se bombea a la correspondiente planta de procesamiento Merrill-Crowe (proceso de precipitación que utiliza zinc) o Columnas de carbón (proceso de recuperación de oro que utiliza carbón activado).

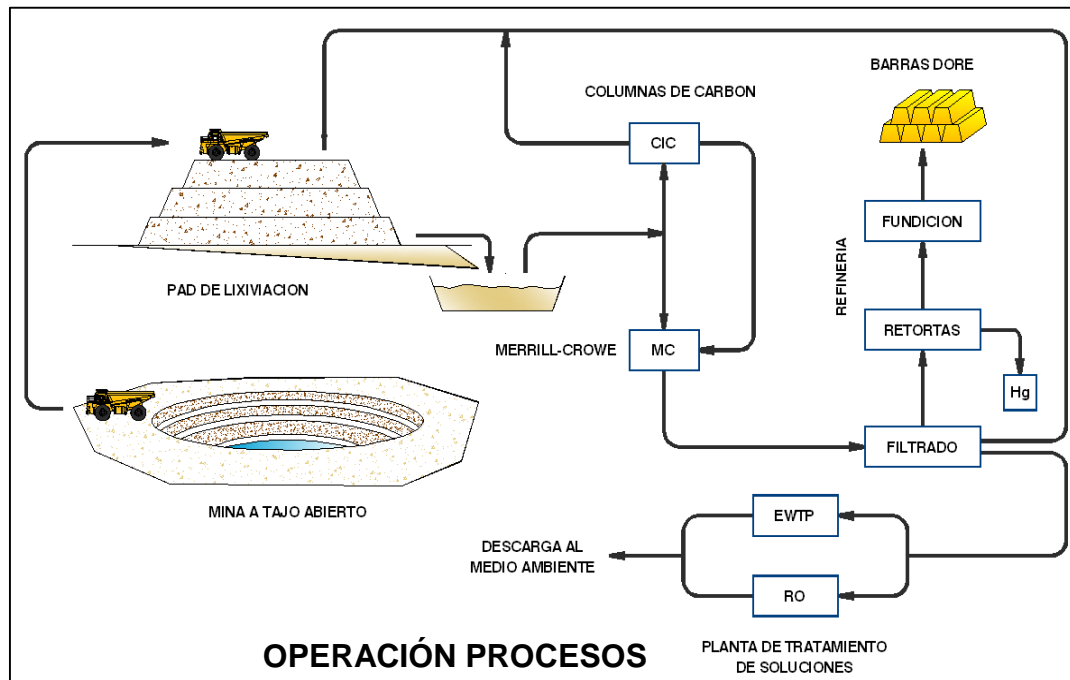


Figura N° 11: Diagrama de las operaciones y procesos en MYSRL.
Fuente: MYSRL – Procesos La Quinoa.

La planta de Carbón de la Quinoa inició operaciones el año 2002, la cual estaba constituida solamente por una planta de adsorción con una capacidad de diseño de 1800 m³/h, la cual ha ido incrementándose gracias a ciertas mejoras periódicas realizadas.

La planta de Carbón La Quinoa, siguió creciendo, construyéndose una planta más de adsorción, dos planta de desorción, dos planta de regeneración química (lavado ácido), una planta de regeneración térmica y un sistema de clarificación para la precipitación de los carbones finos, la cual inició operaciones el 29 de setiembre del 2003. En esta planta se concentra la solución rica provenientes del pad de la Quinoa con leyes promedio de oro 0.4 a 0.5 g/m³ y concentraciones de cianuro entre 40 – 70 ppm. Todas las máquinas de la línea de producción y diseños son del año 2001.

En la actualidad los procesos para la recuperación de oro han ido cambiando por lo que las soluciones provenientes del Pad de lixiviación así como de la planta de Gold Mill han modificado su composición, generando dentro de planta de carbón cambios en los procesos.

Uno de los cambios significativos es el incremento de cianuro libre dentro de las soluciones ricas (auro cianuradas), lo que genera mayor impacto en la etapa de

lavado ácido generándose la degradación del cianuro en dicha soluciones y por ende la generación de gases, así como la exposición a los riegos de la salud en los colaboradores que laboran en dicha área.

A partir de abril del 2008 el tipo de mineral cambia de óxidos a transicional por lo que entró en operación comercial un Molino SAG (Proyecto “Gold Mill”) con una capacidad de tratamiento de 5 MM de toneladas de mineral al año. Este molino procesa minerales de alta ley de oro, reduciéndolos en tamaño para favorecer la recuperación de oro y plata.

El mineral para lixiviación es directamente acarreado a la pila de lixiviación para la extracción de los metales con una solución cianurada; el mineral transicional apto para ser procesado en la planta de producción es llevado hasta la zona de acopio de mineral que alimenta la etapa de chancado; el desmote es selectivamente colocado en el depósito de desmote apropiado, según el tipo de roca (PGA u óxido). El desmote PGA es manejado selectivamente, de acuerdo con los procedimientos ambientales de Minera Yanacocha, y el desmote óxido (NPGA) es acarreado al depósito de desmote de óxidos más cercano.

Las pruebas metalúrgicas realizadas a nivel de laboratorio con mineral transicional reporta que este mineral, en función a su contenido de cobre cianurable y azufre como sulfuro, consumen más cal y cianuro durante el proceso de cianuración. Además, en el tiempo tienden a acidificarse generando una solución con pH cercano a 2 unidades, haciendo imposible continuar lixiviando, debido a que genera gas cianhídrico, el cual es un peligro para la salud de los trabajadores y para el ambiente.

A raíz de este cambio de mineral, las soluciones lixiviadas contienen altas concentraciones de cianuro libre, por lo que se incrementa las posibilidades de generación de gas cianhídrico dentro de planta de procesos La Quinoa. Estas soluciones presentan altas leyes de oro porque se hace indispensable el tratamiento de estas soluciones bajo los nuevos parámetros operacionales que se requiere.

Yanacocha

FLOW SHEET STRIPP - LQ

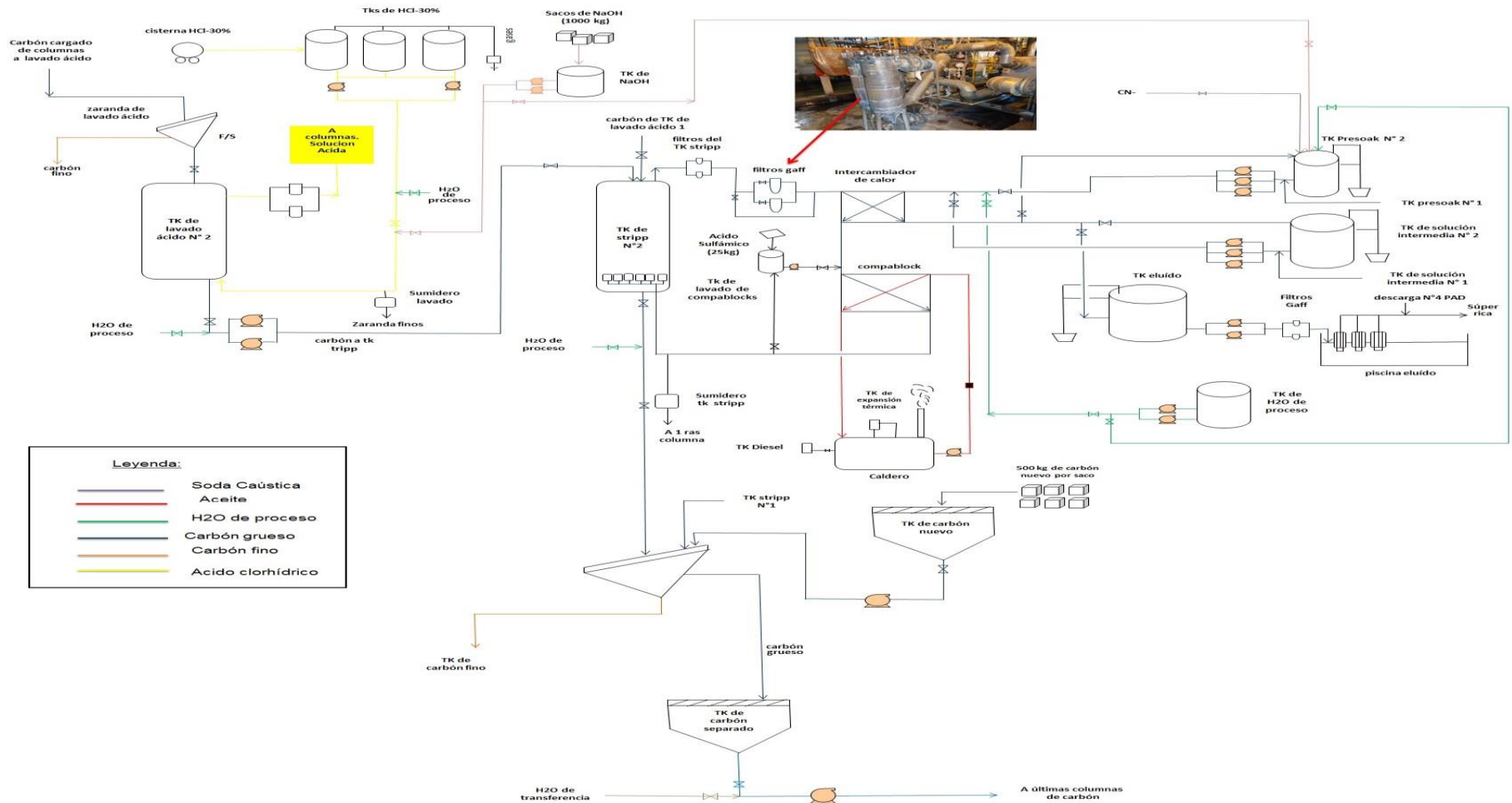


Figura N° 12: Diagrama de flujo desorción y lavado ácido – La Quinua.

Fuente: MYSRL – Procesos La Quinua.

4.2. Descripción del proceso de lavado ácido del carbón activado en MYSRL.

El lavado ácido actualmente se está realizando antes de ingresar el carbón cargado a la etapa de desorción. Se debe tomar precauciones para lavar bien el carbón con agua antes de la desorción, ya que si hay presencia de ácido clorhídrico en contacto con NaCN en el momento de la adsorción se produce gas cianhídrico (HCN).

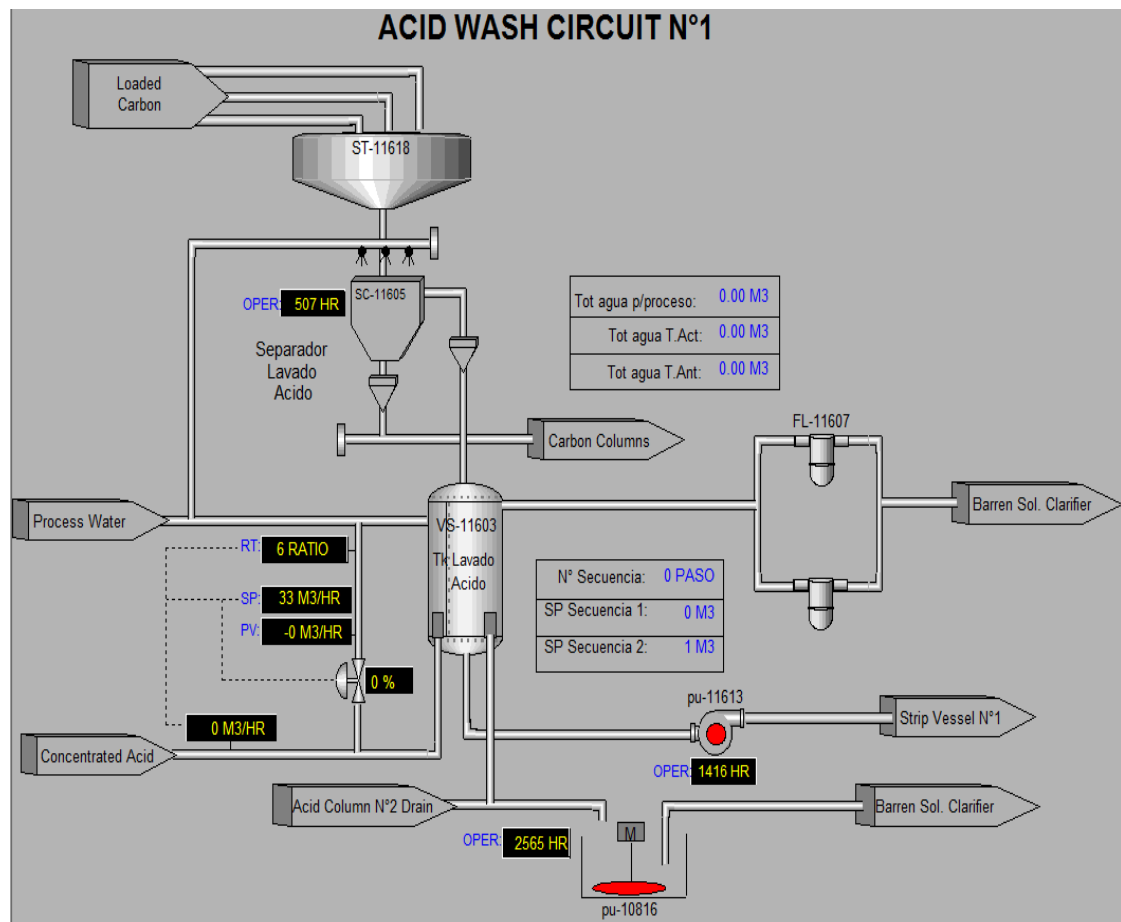


Figura N° 13: Circuito de lavado ácido No 1.
Fuente: MYSRL – Procesos La Quinua.

El producto del lavado ácido del carbón activado es un carbón regenerado libre de carbonatos e impurezas. Para contar con este producto se ha tenido que generar una agua ácida la cual es derivada hacia el proceso de adsorción en el que se trabaja con soluciones aurocianuradas que tienen como característica principal la concentración de cianuro que requiere 40 a 70 ppm (partes por millón). En la tabla 1 se muestra los insumos requeridos y sus cantidades respectivas para la generación de 8 TM de carbón libre de impurezas.

Tabla 1. Insumos para lavado ácido de carbón cargado

Insumo	Unidad	Cantidad
HCl	m ³	1.0
Agua tratada	m ³	100 - 150

Fuente: Empresa Minera Yanacocha SRL.

El carbón es tratado químicamente, adicionando ácido clorhídrico. En la tabla N° 2 se muestran los parámetros de las características químicas que debe cumplir el carbón limpio y libre de impurezas (carbón nuevo).

Tabla 2. Características Químicas del carbón activado nuevo.

Parámetros	Limite
Carbonatos	7 gr /Kg. 6.2 kg/TM
Adsorción	95 % Eficiencia
pH	9.47

Fuente: Empresa Minera Yanacocha SRL.

En planta de procesos La Quinua - Yanacocha, donde se realiza el proceso de lavado ácido cuenta con tres tanques de almacenamiento de ácido clorhídrico, dos tanques de fibra de vidrio, un tanque de almacenamiento de agua tratada.

Así mismo, la planta en el proceso de lavado ácido cuenta con equipos de soporte los cuales son: bombas de transferencia de ácido, bombas de transferencia de carbón, válvulas modulantes, válvulas on, off, detectores de nivel, entre otros.

Actualmente el proceso de lavado ácido se realiza con el apoyo de 02 operadores: 01 se encarga de la transferencia de carbón activado, 01 en el área de lavado ácido. Los operadores trabajan en 2 turnos rotativos de 12 horas ya que la producción se realiza las 24 horas.

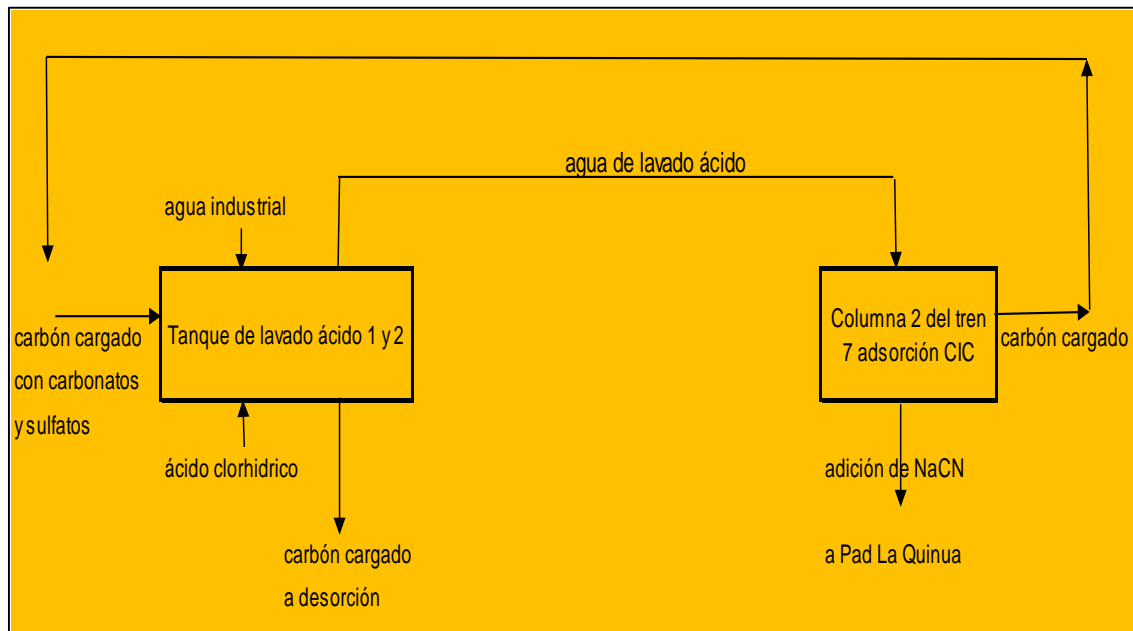


Figura 14. Circuito de lavado ácido y adsorción CIC en Planta de Procesos La Quinua

4.3. Análisis del costo por pérdida de cianuro de sodio sin neutralización.

Se obtuvieron datos representativos para estimar la pérdida de cianuro durante los 24 días que se realizó el monitoreo en planta La Quinua del 01 /10/2015 al 24/10/2015.

La pérdida de cianuro se estimó a partir de los datos del FCN^- ppm en tren 07 Inicio, FCN^- ppm en tren 07 Final, Caudal en tren 07 m^3/h ; a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida de cianuro (kg/h)} = \frac{\text{FCN}^- \text{ ppm en tren 07 Inicio} - \text{FCN}^- \text{ ppm en tren 07 Final}}{1000} \times \text{Caudal en tren 07 } \text{m}^3/\text{h}$$

Los datos estimados de la pérdida de cianuro de sodio, son los siguientes:

Tabla 3. Pérdida de cianuro de sodio durante los 24 días.

FECHA	Pérdida de cianuro de sodio kg/día
01/10/2015	929.27
02/10/2015	3964.36
03/10/2015	1274.83
04/10/2015	1941.35
05/10/2015	3181.86
06/10/2015	1856.43
07/10/2015	2196.85
08/10/2015	4773.62
09/10/2015	3146.26
10/10/2015	1593.56
11/10/2015	405.17
12/10/2015	148.96
13/10/2015	539.77
14/10/2015	327.83
15/10/2015	497.92
16/10/2015	577.80
17/10/2015	721.20
18/10/2015	179.97
19/10/2015	581.05
20/10/2015	769.04
21/10/2015	324.73
22/10/2015	116.29
23/10/2015	915.62
24/10/2015	281.22
TOTAL x 24 DÍAS:	31244.97

Posteriormente se realizó una cotización por kilo de cianuro de sodio para poder conocer el costo total por pérdida de cianuro de sodio, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4. Costo total por pérdida de cianuro de sodio.

Costo por pérdida de cianuro de sodio (US \$)		
Pérdida de cianuro de sodio (kg)	Precio de cianuro de sodio (US \$/kg)	Costo por pérdida de cianuro (US \$)
31244.97	2.37	74050.59

Precio Cianuro de sodio: 2.37 dólar por Kg. (Ver Anexo 6, pág. 68).

4.4. Pruebas de laboratorio para el tratamiento de aguas del lavado ácido

Tomando en cuenta los resultados expuestos en las tablas 3 y 4, se realizaron las pruebas para el proceso de tratamiento de aguas del lavado ácido por neutralización con solución de soda cáustica a nivel de laboratorio.

4.4.1. Caracterización del agua de lavado ácido

Las principales características del agua de lavado ácido a la salida del tanque de lavado ácido, son las siguientes:

Acidez: pH entre 1.157 y 3.658 (ver tabla 5).

Carbonatos: Entre 891 a 982 ppm

Sulfatos: Entre 429 a 425 ppm

La acidez se manifiesta en presencia de sales (principalmente carbonatos y sulfatos) y una gama de iones de metales pesados, disueltos por efecto de la disolución por acción del ácido clorhídrico.

4.4.2. Neutralización con solución de soda cáustica

El proceso de tratamiento propuesto a nivel de laboratorio, obedece a un proceso químico de neutralización con solución de soda cáustica, tipo batch. A nivel industrial la aplicación será en línea para mayor eficiencia del proceso.

Para la neutralización del agua de lavado ácido con solución cáustica, se realizó 28 pruebas de neutralización siguiendo las siguientes etapas:

a. Primera etapa

- Se preparó solución de soda cáustica a una concentración del 10 %. Esta soda cáustica es industrial, presentación en escamas, con 98 % de pureza.
- Se procedió a tomar una muestra de 250 ml de solución cianurada del tren 7, en la cual se midió su pH y fuerza de cianuro (ppm).
- De la misma manera se tomó una muestra de 50 ml de agua de lavado ácido y se midió su pH.

b. Segunda etapa

- Se agregó 5 ml de solución cáustica a los 50 ml de agua de lavado ácido y se midió su pH final de solución neutralizada.
- Esta solución neutralizada se agregó a los 250 ml de solución cianurada del tren 7, y se midió su pH y fuerza de cianuro (ppm).

Las pruebas de neutralización del agua de lavado ácido con solución cáustica en pruebas de laboratorio fueron los siguientes:

Tabla 5. Resultados de la mezcla de solución cianurada con agua de lavado ácido neutralizada con solución de soda cáustica.

Número de prueba	Datos de solución cianurada			Datos de solución ácida		Datos de mezcla de solución cianurada con solución neutralizada			
	Volúmen de solución cianurada (ml)	pH solución cianurada	Fuerza de cianuro de solución cianurada (ppm)	Volumen solución ácida ml	pH solución ácida	Dosificación de solución caustica (ml)	pH final de solución neutralizada	Fuerza de cianuro de solución cianurada	Generación de HCN (ppm) - Después
1	250	10.658	325.665	50	1.462	5	7.514	320.321	0.0
2	250	9.7512	462.254	50	2.315	5	7.685	458.651	0.9
3	250	9.2154	419.547	50	2.187	5	8.157	458.654	1.5
4	250	9.5987	381.954	50	1.325	5	7.984	380.578	0.9
5	250	9.6589	304.625	50	1.987	5	8.487	302.541	0.0
6	250	9.1487	261.657	50	2.874	5	8.651	258.681	0.4
7	250	9.6587	215.874	50	1.451	5	8.471	212.254	0.8
8	250	9.9995	198.511	50	3.658	5	8.654	194.651	0.2
9	250	9.2658	154.287	50	1.548	5	8.410	152.478	0.7
10	250	9.2154	110.541	50	2.367	5	8.412	108.659	0.0
11	250	9.6587	298.365	50	2.987	5	8.987	296.387	0.5
12	250	9.6874	214.681	50	2.415	5	8.457	212.354	0.9
13	250	9.6987	187.654	50	2.841	5	8.957	180.654	0.4
14	250	9.8547	102.954	50	2.147	5	8.784	98.487	0.2
15	250	9.8749	85.487	50	2.652	5	8.957	83.981	0.7
16	250	9.8748	69.548	50	2.549	5	8.741	66.325	0.9
17	250	9.2147	51.672	50	2.357	5	8.527	51.024	0.8
18	250	9.8721	48.745	50	3.287	5	8.972	47.891	0.1
19	250	10.2541	65.624	50	1.981	5	8.681	63.254	0.6
20	250	9.7412	45.241	50	1.547	5	8.467	44.357	0.8
21	250	9.1478	41.574	50	1.947	5	8.917	40.753	0.4
22	250	9.5874	52.365	50	1.285	5	8.328	50.943	0.9
23	250	9.7632	48.98	50	1.157	5	8.888	48.597	0.2
24	250	9.8795	112.843	50	1.174	5	8.415	111.024	0.4
25	250	9.1245	125.659	50	1.58	5	8.971	120.541	0.8
26	250	9.8741	156.784	50	1.254	5	8.957	154.872	0.5
27	250	9.814	92.654	50	1.471	5	8.472	89.825	0.7
28	250	9.4512	84.121	50	1.652	5	8.471	82.934	0.2

Fuente: Resultados de Pruebas desarrolladas en Laboratorio MYSRL.

La dosificación de 5 ml de solución de soda cáustica a 50 ml de solución ácida es equivalente a una dosificación en Planta de 100 ml de solución cáustica para 1 m³ de solución ácida.

Posteriormente se realizó una cotización por kilo de soda cáustica para poder conocer el costo de consumo de soda cáustica, obteniéndose los siguientes resultados:

- Precio de la soda cáustica: 0.65 dólar por Kg. (Ver Anexo 7, pág. 69).
- Costo de consumo de soda es de 0.0065 US \$/ m³ de solución ácida.

Estadísticamente se ha determinado que el caudal promedio de agua de lavado ácido es de 189.41 m³/hora (tabla 8), estimándose así un costo por consumo de soda cáustica por 24 días de proceso.

$$\frac{0.0065 \text{ US \$}}{\text{m}^3 \text{ de solución ácida}} \times \frac{189.41 \text{ m}^3 \text{ de solución ácida}}{\text{hora}} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \times 24 \text{ días}$$

$$= 709.15 \text{ US \$}$$

Con este resultado se puede estimar el ahorro por pérdida de cianuro de sodio y consumo de soda cáustica durante 24 días de operación:

Tabla 6. Costos por pérdida de Cianuro de Sodio y compra de soda cáustica.

E	Costo por pérdida de cianuro de sodio (US \$)	74, 050.59 (+)
S	Costo por consumo de soda cáustica (US \$)	709.15 (-)
	Ahorro (US \$)	73, 341.44

Imitando este dato de ahorro en 24 días a 30 días/mes, se tendría un ahorro anual de:

$$= \frac{73, 341.44 \text{ US \$}}{24 \text{ días}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$= 1 \text{ 100, 121.60 US \$ (Ahorro anual)}$$

4.5. Implementación del sistema de tratamiento de aguas de lavado ácido

Básicamente el diseño del proceso del sistema de tratamiento de aguas elegido es el siguiente:

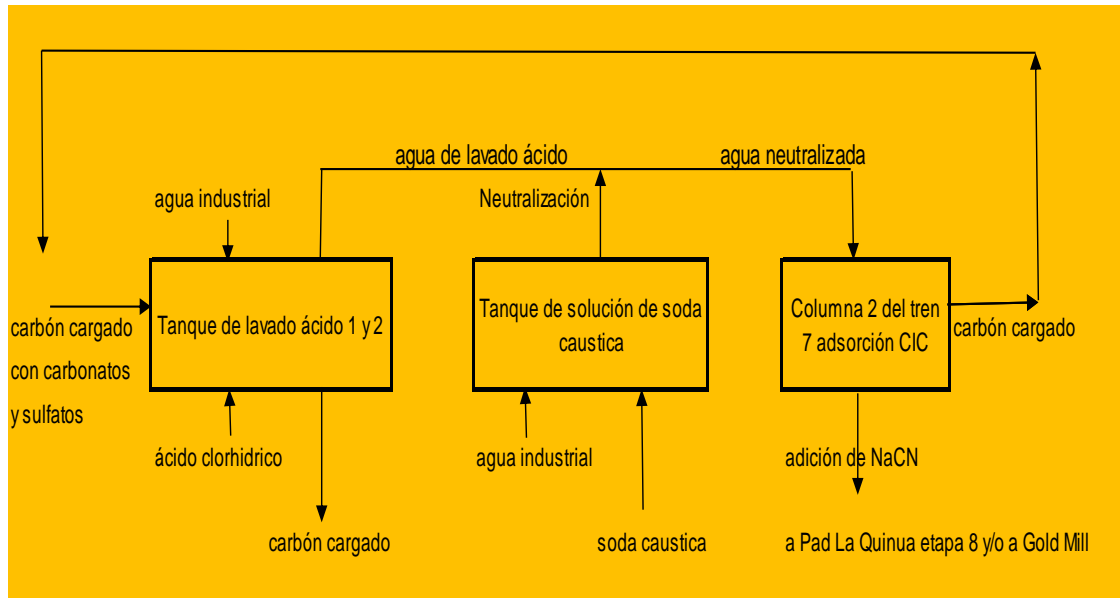


Figura 15. Circuito experimental de la neutralización del agua de lavado ácido

Para esta implementación se tuvo que coordinar con una Empresa contratista para que cotice los trabajos para el sistema de tuberías y válvulas de dosificación de soda cáustica, tal como se muestra en el siguiente esquema:

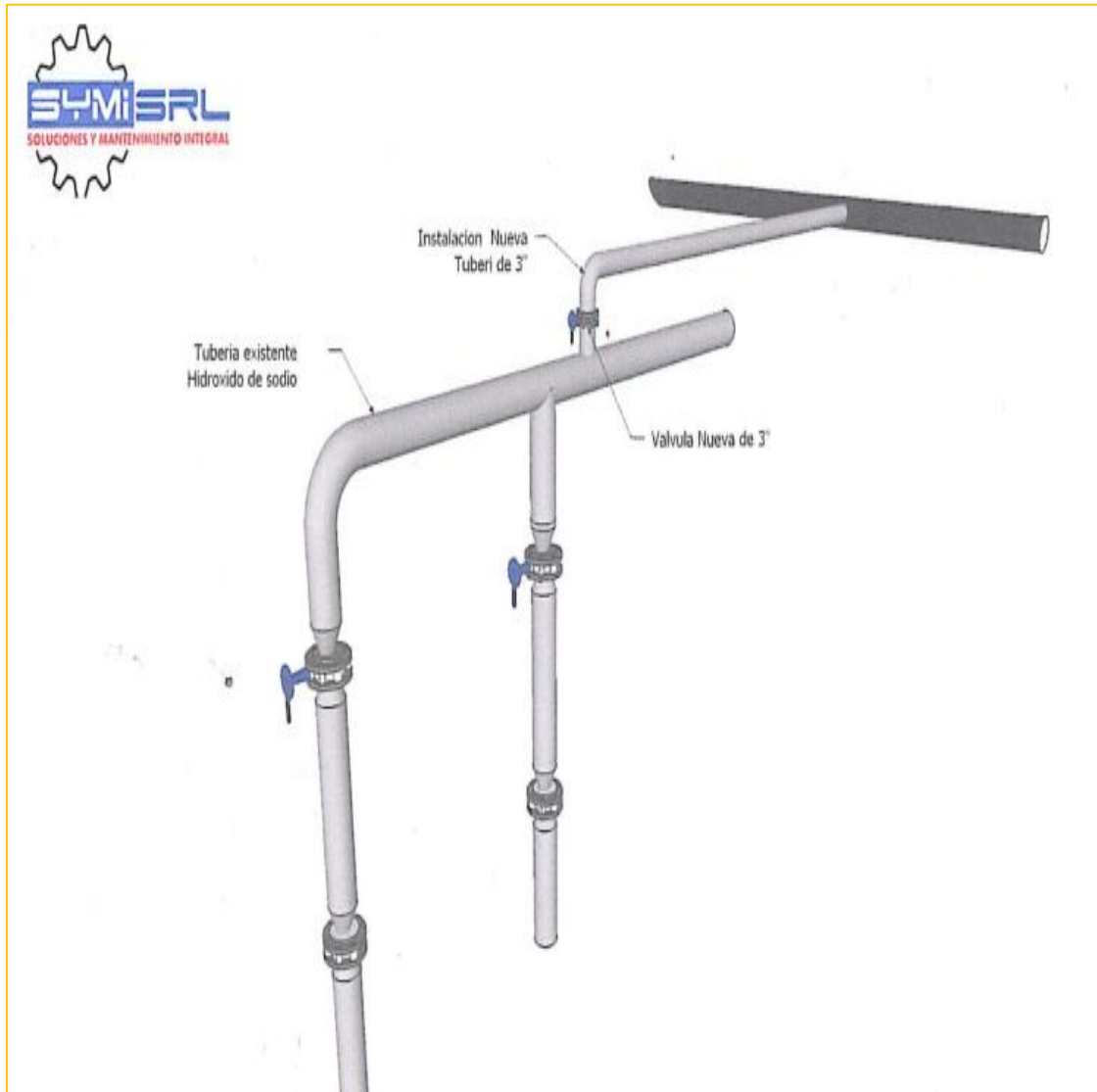


Figura 16. Diseño de tuberías y codos.

Elaboración: Empresa SYMI SRL Soluciones y Mantenimiento Integral.

La cotización de este trabajo asciende a US \$ 2,944. 50 (ver cotización en Anexo 5, pág. 64).

CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Tipo de diseño de investigación.

La investigación es Experimental, con diseño experimental puro, del tipo pre prueba - post prueba y un grupo control; dado a que el experimento consiste en que a un grupo de pruebas de laboratorio, con muestras de lavados ácido y soluciones cianuradas, se realiza una medición inicial del pH, luego se le aplica la solución neutralizadora a la solución ácida y ésta mezcla se adiciona a la solución Cianurada del proceso de adsorción, para que finalmente se vuelva a realizar una medición de pH, Fuerza de Cianuro y Gas Cianhídrico, para ser comparadas con el grupo control, que corresponde a los lavados ácidos de planta.

5.2. Material de estudio.

5.2.1. Población.

Todos los lavados ácidos durante el periodo de Abril del 2008 a Octubre del 2015.

5.2.2. Muestra

84 lavados ácidos seleccionados aleatoriamente, durante el periodo del 01 y 24 de Octubre del 2015, de los Tanques 1 y 2, de la Planta de Procesos la Quinoa de Minera Yanacocha.

5.2.3. Unidad de estudio.

Un lavado ácido

5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

5.3.1. Para recolectar datos.

- Para obtener la información necesaria del pH y caudal de salida del agua de lavado ácido; pH y caudal de solución cianurada del tren 7; fuerza de CN⁻ en tren 07 Inicio y final; así como la generación de HCN antes de implementar el sistema de tratamiento de agua con soda cáustica; se tomaron los datos de los instrumentos instalados en línea del proceso, desde el 01/10/2015 al 24/10/2015.

- Para obtener las muestras para prueba de laboratorio y los resultados del análisis del pH del agua de lavado ácido; pH y fuerza de CN^- de la solución cianurada; pH del agua de lavado ácido; se tomaron muestras de agua dentro de la Planta. Esta toma de muestras se realizó en cuatro días de trabajo, durante 24 horas.
- Estas últimas muestras líquidas se enviaron al Laboratorio Químico de MYSRL para los análisis respectivos.

5.3.2. Para determinar tamaño de muestra

La muestra es aleatoria, seleccionada de una población infinita, donde se utiliza un 95% de confianza ($z_{1-\alpha/2}$) y un 10% de error de muestreo (E), con respecto al valor de la Varianza, se tomó una muestra piloto de 25 observaciones, de donde se encontró una varianza de 0.218. Para la determinación del tamaño de muestra, se utiliza la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{(1-\frac{\alpha}{2})}^2 * S^2}{E^2}$$

Luego de reemplazar los datos, se tiene el siguiente resultado:

$$n = \frac{(1.96^2)(0.218)}{0.10^2}$$

$$n = 83.74 \quad \text{Aproximadamente } 84.$$

Entonces la muestra queda constituida por 84 lavados ácidos.

5.3.3. Para analizar información.

Con los datos recolectados de planta, se organizó y presentó a través de tablas y gráficos la información correspondiente al grupo control. Luego se

realizó el mismo procedimiento para la información correspondiente a las pruebas de laboratorio.

Para determinar el ahorro en consumos de cianuro de sodio con la implementación del sistema de neutralización con solución cáustica, se presentan tablas con la información de pérdida de cianuro de sodio, por el ataque del agua de lavado ácido a la solución cianurada, y el costo por la dosificación de solución cáustica, equivalente a costos en dólares americanos, para analizar cuanto se ahorrará en un año.

Para el Análisis y Resumen de datos cuantitativos que son los datos que corresponden al grupo control y las pruebas de laboratorio, se utilizaron medidas de Tendencia Central y No central, Variabilidad y Forma; tales como la Media , Mediana, Moda, Cuantilas, Varianza, Desviación Estándar, Coeficiente de Variación, Asimetría y Kurtosis, que fueron calculadas con Análisis de Datos de Excel.

Con información de la Planta, que corresponde al grupo control, se utilizó el Análisis de Regresión y Correlación, para determinar la Correlación existente entre las variables independientes y Dependiente, donde se utilizó la versión 22 del paquete estadístico SPSS for Windows.

Para realizar la comprobación de la Prueba de Hipótesis, se utilizó la Prueba de Diferencia de Medias Pareadas (o Dependientes), para determinar la diferencia entre ambos grupo (Pre –Post prueba), es decir probar la reducción de gas cianhídrico, producto de la aplicación de la solución neutralizadora.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS

Tabla 7: Caudal (m³/h), pH, fuerza de cianuro (ppm) de solución cianurada y generación de HCN (ppm) en la Planta de Procesos La Quinua"- Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre 2015

Nº	Caudal (m ³ /h) *	pH **	FCN (ppm) en tren 07 Inicio	Generación de HCN ppm	Límite Max permisible de HCN ppm a exposición
1	122.06	5.72	32.48	2.23	4.70
2	340.77	7.38	132.69	12.21	4.70
3	43.32	3.50	154.57	3.71	4.70
4	53.29	3.27	137.13	4.23	4.70
5	152.91	3.71	59.82	4.59	4.70
6	191.07	3.65	56.39	5.37	4.70
7	195.77	6.62	106.80	5.80	4.70
8	47.11	1.71	118.49	5.86	4.70
9	164.67	2.27	53.46	6.86	4.70
10	95.31	3.89	163.09	7.05	4.70
11	216.24	2.50	48.64	7.37	4.70
12	138.80	2.62	81.21	7.53	4.70
13	131.58	2.35	102.17	8.81	4.70
14	402.28	6.45	96.77	9.31	4.70
15	108.87	1.82	104.93	9.71	4.70
16	368.43	2.88	49.25	12.28	4.70
17	251.34	5.10	138.09	10.89	4.70
18	135.36	2.35	119.60	9.71	4.70
19	262.11	4.25	117.04	9.73	4.70
20	182.58	2.93	115.84	9.89	4.70
21	309.70	4.00	95.69	11.90	4.70
22	44.12	4.30	155.37	5.88	4.70
23	54.09	4.07	137.93	5.68	4.70
24	153.71	4.51	60.62	5.06	4.70
25	191.87	4.45	57.19	5.95	4.70
26	196.57	7.42	107.60	7.44	4.70
27	47.91	2.51	119.29	3.80	4.70
28	165.47	3.07	54.26	5.16	4.70
29	96.11	4.69	163.89	6.24	4.70
30	217.04	3.30	49.44	6.37	4.70
31	139.60	3.42	82.01	5.22	4.70
32	132.38	3.15	102.97	5.57	4.70
33	403.08	7.25	97.57	12.89	4.70
34	109.67	2.62	105.73	5.75	4.70
35	369.23	3.68	50.05	11.89	4.70
36	252.14	5.90	138.89	10.75	4.70
37	136.16	3.15	120.40	7.23	4.70
38	262.91	5.05	117.84	10.56	4.70
39	183.38	3.73	116.64	8.36	4.70
40	310.50	4.80	96.49	11.50	4.70

*/ Caudal de mezcla: Caudal de Salida Total de Agua Ácida de Tanque 1 y 2 (M³/H)

**/pH de mezcla: pH Salida Total Agua Ácida de Tanque 1 y 2

Fuente: Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha.

Tabla 7: Caudal (m³/h), pH, fuerza de cianuro (ppm) de solución cianurada y generación de HCN (ppm) en la Planta de Procesos La Quinoa" - Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre 2015. (Continuación...)

Nº	Caudal (m ³ /h) *	pH **	FCN (ppm) en tren 07 Inicio	Generación de HCN ppm	Limite Max permisible de HCN ppm a exposición
41	132.33	3.10	102.92	6.26	4.70
42	403.03	7.20	97.52	12.27	4.70
43	109.62	2.57	105.68	5.74	4.70
44	369.18	3.63	50.00	11.95	4.70
45	252.09	5.85	138.84	10.92	4.70
46	136.11	3.10	120.35	7.41	4.70
47	262.86	5.00	117.79	10.64	4.70
48	183.33	3.68	116.59	8.53	4.70
49	310.45	4.75	96.44	11.30	4.70
50	44.87	5.05	156.12	5.43	4.70
51	54.84	4.82	138.68	2.45	4.70
52	154.46	5.26	61.37	5.25	4.70
53	192.62	5.20	57.94	6.01	4.70
54	197.32	8.17	108.35	6.90	4.70
55	48.66	3.26	120.04	3.26	4.70
56	166.22	3.82	55.01	4.62	4.70
57	96.86	5.44	164.64	5.69	4.70
58	217.79	4.05	50.19	5.83	4.70
59	140.35	4.17	82.76	4.68	4.70
60	133.13	3.90	103.72	5.02	4.70
61	109.87	2.82	105.93	4.46	4.70
62	369.43	3.88	50.25	12.35	4.70
63	252.34	6.10	139.09	10.64	4.70
64	136.36	3.35	120.60	7.12	4.70
65	263.11	5.25	118.04	10.36	4.70
66	183.58	3.93	116.84	8.25	4.70
67	310.70	5.00	96.69	11.02	4.70
68	45.12	5.30	156.37	4.75	4.70
69	55.09	5.07	138.93	4.55	4.70
70	154.71	5.51	61.62	5.14	4.70
71	192.87	5.45	58.19	4.98	4.70
72	197.57	8.42	108.60	6.47	4.70
73	48.91	3.51	120.29	3.83	4.70
74	166.47	4.07	55.26	4.19	4.70
75	97.11	5.69	164.89	6.12	4.70
76	218.04	4.30	50.44	5.39	4.70
77	140.60	4.42	83.01	5.57	4.70
78	133.38	4.15	103.97	5.64	4.70
79	404.08	8.25	98.57	12.30	4.70
80	110.67	3.62	106.73	5.30	4.70
81	370.23	4.68	51.05	11.72	4.70
82	253.14	6.90	139.89	10.05	4.70
83	137.16	4.15	121.40	6.60	4.70
84	263.91	6.05	118.84	9.77	4.70

*/ Caudal de mezcla: Caudal de Salida Total de Agua Ácida de Tanque 1 y 2 (M³/H)

**/pH de mezcla: pH Salida Total Agua Ácida de Tanque 1 y 2

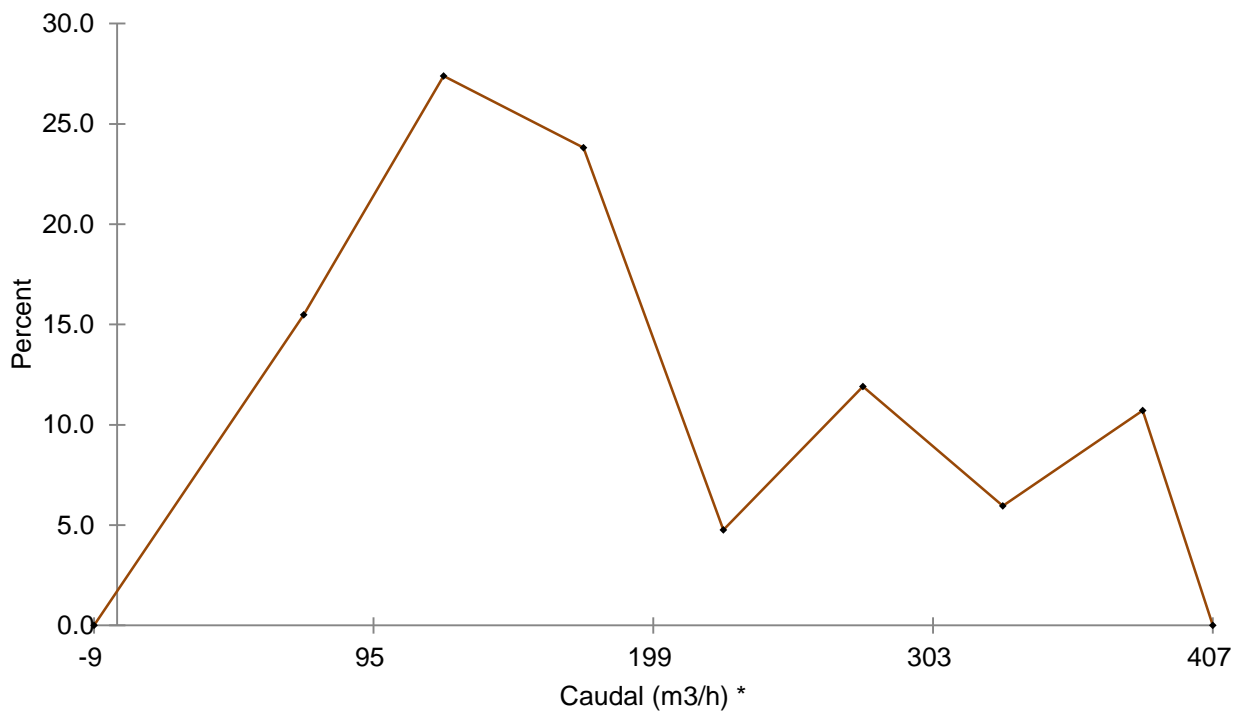
Fuente: Planta de Procesos La Quinoa - Minera Yanacocha

Tabla 8: Caudal de mezcla: caudal de salida del total de agua ácida de Tanque 1 y 2 (m^3/h) de la Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre 2015.

L_i		L_s	X_i	A	f_i	$h_i\%$	F_i	$H_i\%$
43.32	<	95.32	69.32	52.00	13	15.5	13	15.5
95.32	<	147.32	121.32	52.00	23	27.4	36	42.9
147.32	<	199.32	173.32	52.00	20	23.8	56	66.7
199.32	<	251.32	225.32	52.00	4	4.8	60	71.4
251.32	<	303.32	277.32	52.00	10	11.9	70	83.3
303.32	<	355.32	329.32	52.00	5	6.0	75	89.3
355.32	\leq	407.32	381.32	52.00	9	10.7	84	100.0
Total			-	-	84	100.0	-	-

Fuente: Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L.

Gráfico N° 1 : Caudal de mezcla: Caudal de salida del total de agua ácida de tanque 1 y 2 (m^3/h) de la Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre 2015.



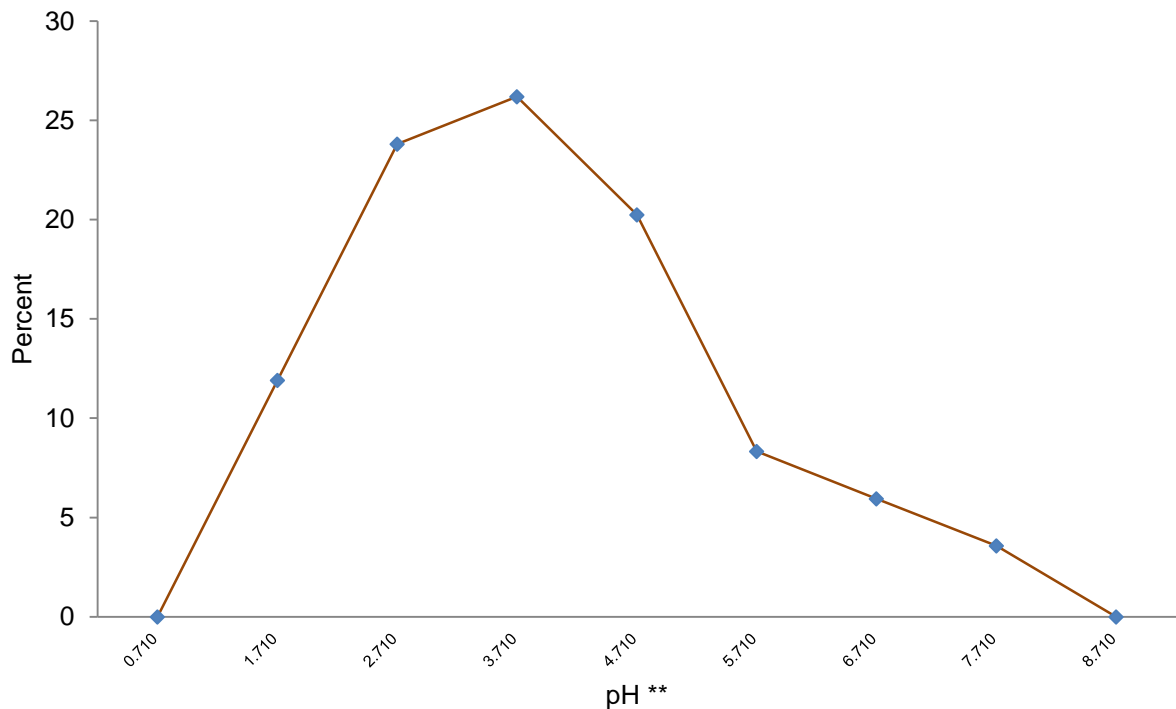
Fuente: Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L.

Tabla 9: pH de mezcla: pH de salida del total de agua ácida de tanques 1 y 2 de la Planta de Procesos La Quínua - Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre 2015.

<i>pH</i>		<i>Xi</i>	<i>A</i>	<i>fi</i>	<i>hi%</i>	<i>Fi</i>	<i>Hi%</i>
<i>Li</i>	<i>Ls</i>						
1.710	< 2.710	2.210	1.000	10	11.9	10	11.9
2.710	< 3.710	3.210	1.000	20	23.8	30	35.7
3.710	< 4.710	4.210	1.000	22	26.2	52	61.9
4.710	< 5.710	5.210	1.000	17	20.2	69	82.1
5.710	< 6.710	6.210	1.000	7	8.3	76	90.5
6.710	< 7.710	7.210	1.000	5	6.0	81	96.4
7.710	≤ 8.710	8.210	1.000	3	3.6	84	100.0
Total				84	100.0		

Fuente: Planta de Procesos La Quínua - Minera Yanacocha S.R.L

Gráfico N° 2: pH de mezcla: pH de salida del total de agua ácida de tanque 1 y 2, de la Planta de Procesos La Quínua - Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre 2015.



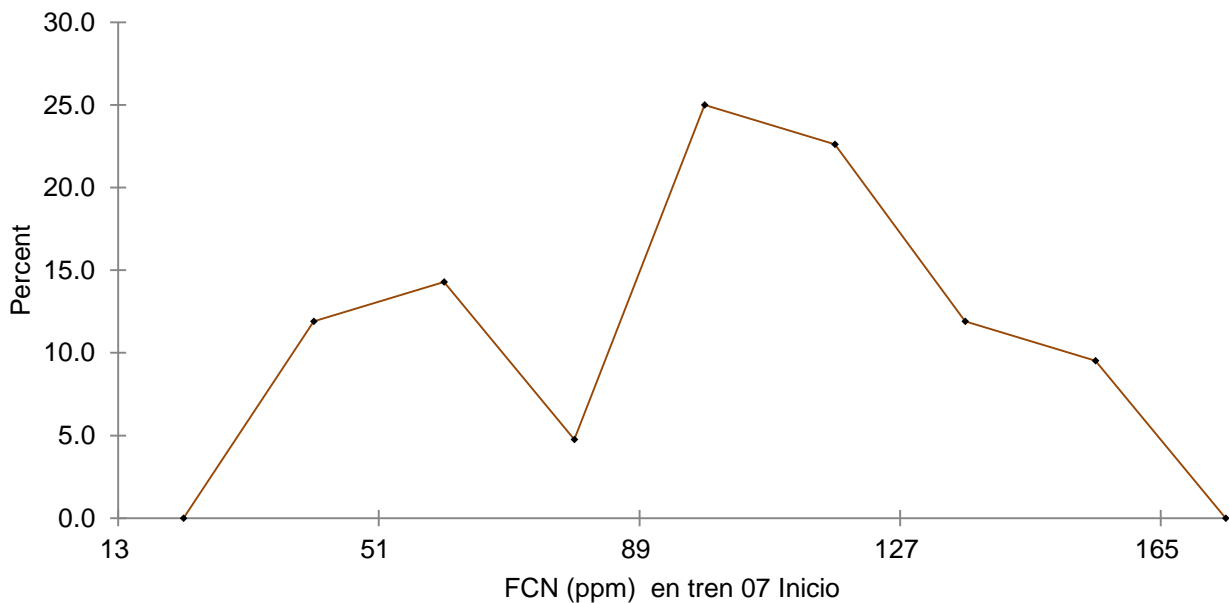
Fuente: Planta de Procesos La Quínua - Minera Yanacocha.

Tabla 10: Fuerza de Cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7 de la Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre 2015.

FCN (ppm) en tren 07		<i>Xi</i>	<i>A</i>	<i>fi</i>	<i>hi%</i>	<i>Fi</i>	<i>Hi%</i>
<i>Li</i>	<i>Ls</i>						
32.48	< 51.48	41.98	19.00	10	11.9	10	11.9
51.48	< 70.48	60.98	19.00	12	14.3	22	26.2
70.48	< 89.48	79.98	19.00	4	4.8	26	31.0
89.48	< 108.48	98.98	19.00	21	25.0	47	56.0
108.48	< 127.48	117.98	19.00	19	22.6	66	78.6
127.48	< 146.48	136.98	19.00	10	11.9	76	90.5
146.48	≤ 165.48	155.98	19.00	8	9.5	84	100.0
Total				84	100.0		

Fuente: Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L

Gráfico N° 3: Fuerza de Cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7 de la Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre 2015



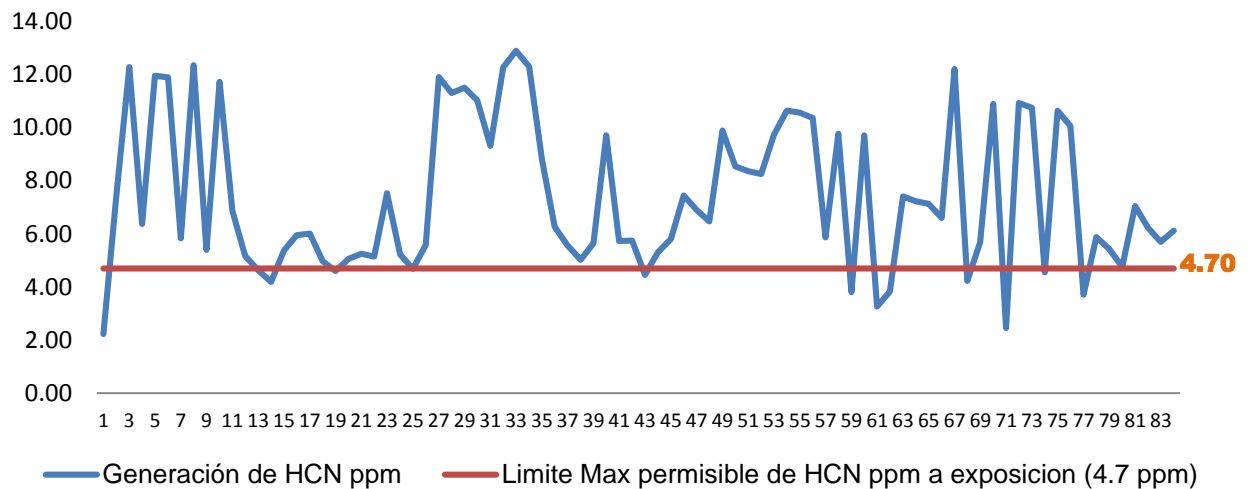
Fuente: Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L.

Tabla 11: Generación de gas cianhídrico - HCN (ppm) de la Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre 2015

Generación de HCN ppm			<i>Xi</i>	<i>A</i>	<i>fi</i>	<i>hi%</i>	<i>Fi</i>	<i>Hi%</i>
<i>lower</i>		<i>upper</i>						
2.23	<	4.23	3.23	2.00	7	8.3	7	8.3
4.23	<	6.23	5.23	2.00	32	38.1	39	46.4
6.23	<	8.23	7.23	2.00	14	16.7	53	63.1
8.23	<	10.23	9.23	2.00	11	13.1	64	76.2
10.23	<	12.23	11.23	2.00	15	17.9	79	94.0
12.23	≤	14.23	13.23	2.00	5	6.0	84	100.0
Total					84	100.0		

Fuente: Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L.

Gráfico N° 4 : Generación de Gas Cianhídrico - HCN (ppm) en la Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre del 2015.



Fuente: Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L.

Tabla 12 : Medidas de resumen de pH del agua de lavado ácido, caudal salida total de agua ácida de los tanques 1 y 2 (m^3/h), fuerza de cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7 y generación del gas cianhídrico (ppm) en la Planta de Procesos La Quinoa-Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre del 2015

Medidas de Resumen	Caudal (m^3/h)	pH	FCN (ppm) en tren 07 Inicio	Generación de HCN ppm
Media	189.41	4.43	101.77	7.42
Error típico	10.91	0.16	3.79	0.31
Mediana	165.84	4.15	105.83	6.42
Desviación estándar	100.02	1.51	34.71	2.83
Varianza de la muestra	10004.12	2.28	1204.46	8.00
Coefficiente de Variación	0.54	0.34	0.34	0.38
Curtosis	-0.37	0.17	-0.89	-1.07
Coefficiente de asimetría	0.61	0.70	-0.15	0.40
Rango	360.75	6.71	132.41	10.66
Mínimo	43.32	1.71	32.48	2.23
Máximo	404.08	8.42	164.89	12.89
Suma	15600.03	371.87	8548.79	623.09
Cuenta	84.00	84.00	84.00	84.00

Fuente: Planta de Procesos La Quinoa - Minera Yanacocha S.R.L.

Tabla 13 : Análisis de regresión y correlación de caudal de salida total de agua ácida de los tanques 1 y 2 (m³/h), pH del agua de lavado ácido, fuerza de cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7 y generación del gas cianhídrico (ppm), en la Planta de Procesos La Quinua-Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre del 2015

A. ESTADÍSTICAS DE REGRESIÓN

Coeficiente de correlación múltiple	0.945339601
Coeficiente de determinación R ²	0.893666961
R ² ajustado	0.889679472
Error típico	0.939278408
Observaciones	84

B. ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	3	593.1795081	197.726503	224.117726	7.951E-39
Residuos	80	70.57951421	0.88224393		
Total	83	663.7590223			

C. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%
Intercepción	-0.16416140	0.46816702	-0.3506471	0.72677476	-1.095843
Caudal de mezcla - caudal salida Total (M3/H)	0.032940671	0.001324701	24.8664958	2.1659E-39	0.030304
pH de mezcla - pH salida total	-0.60007333	0.082353942	-7.28651627	1.9874E-10	-0.763962
FCN- ppm en tren 07 Inicio	0.040491597	0.003498586	11.5737045	9.0922E-19	0.033529

Fuente: Planta de Procesos La Quínuá - Minera Yanacocha S.R.L.

Tabla 14: Generación de HCN antes y después de la aplicación de solución neutralizada en la Planta de Procesos La Quinua-Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre del 2015.

Número de prueba	Generación de HCN (ppm) antes de aplicación de soda cáustica	Generación de HCN (ppm) después de aplicación de soda cáustica	Límite Max permisible de HCN ppm a exposición (4.7 ppm)
1	9.8	0.0	4.7
2	12.1	0.9	4.7
3	11.9	1.5	4.7
4	10.6	0.9	4.7
5	10.2	0.0	4.7
6	9.9	0.4	4.7
7	8.1	0.8	4.7
8	7.9	0.2	4.7
9	7.8	0.7	4.7
10	7.4	0.0	4.7
11	8.7	0.5	4.7
12	8.0	0.9	4.7
13	7.4	0.4	4.7
14	6.9	0.2	4.7
15	5.6	0.7	4.7
16	5.1	0.9	4.7
17	5.4	0.8	4.7
18	5.6	0.1	4.7
19	4.8	0.6	4.7
20	3.1	0.8	4.7
21	3.7	0.4	4.7
22	4.3	0.9	4.7
23	4.4	0.2	4.7
24	6.6	0.4	4.7
25	7.4	0.8	4.7
26	6.9	0.5	4.7
27	3.9	0.7	4.7
28	3.8	0.2	4.7

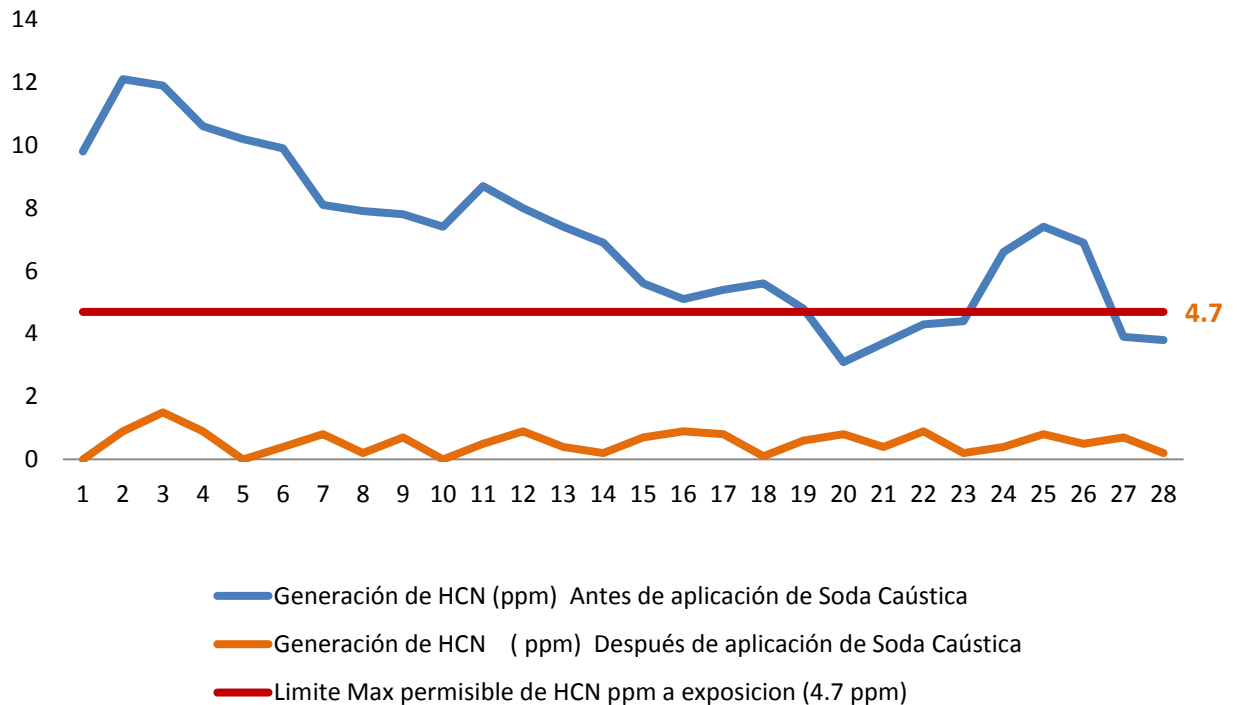
Fuente: Planta de Procesos La Quinua - Minera Yanacocha S.R.L.

Tabla 15: Generación de gas cianhídrico (HCN), antes y después de la aplicación de solución neutralizada, en la Planta de Procesos La Quínuá-Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre del 2015.

	ANTES (ppm)	DESPUES (ppm)
Media=	7.04	0.55
DS=	2.52	0.36
n=	28	28

Fuente: Planta de Procesos La Quínuá - Minera Yanacocha S.R.L.

Gráfico Nº 5: Generación de HCN antes y después de la aplicación de solución neutralizada, en la Planta de Procesos La Quínuá-Minera Yanacocha S.R.L. - Octubre del 2015.



Fuente: Planta de Procesos La Quínuá - Minera Yanacocha.

Hipótesis

H1= La implementación de un sistema de tratamiento de aguas del lavado ácido del carbón activado, reducirá de forma altamente significativa, el gas cianhídrico en la planta de procesos La Quinua, teniendo en cuenta los aspectos ambientales relevantes y la capacidad técnica de la planta

$$\alpha = 0.01$$

Tabla 16: Prueba de Hipótesis de medias pareadas, para la generación de HCN, antes y después de la aplicación de soda cáustica

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	A-D	6.496	2.493	.471	5.530	7.463	13.787	27	.000

SPSS for Windows V. 22

El valor del p - value = 4.28E-14 es igual a 0.0000000000000428.

Lo que indica que es menor al $\alpha = 0.01$.

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

Después de observar todas las etapas del proceso productivo de la recuperación de oro por medio del carbón activado en la Planta de Procesos La Quinua, y de reconocer que por el ingreso de mineral transicional que se ha ido procesando a partir de abril del 2008, ha ocasionado que las soluciones lixiviadas contengan altas concentraciones de cianuro libre, las cuales a través del tiempo han incrementado las posibilidades de generación de gas cianhídrico.

En las reuniones sostenidas con el personal de la Planta involucrado, se realizó un Diagnóstico de la situación y a través del Diagramas de Ishikawa se analizó las causas y soluciones posibles, monitoreando en Planta y desarrollando pruebas en laboratorio, las mismas que han determinado que el Caudal promedio de Salida Total de Agua Ácida de Tanque 1 y 2 es de 189.41 (m³/h), con un coeficiente de Asimetría (As) de 0.61, lo que nos indica que la mayor cantidad de caudales son menores que el promedio, que se puede visualizar en la Tabla 8 , 12, y Gráfico 1; así también los lavados ácidos presentan un pH promedio de 4.43, cuando se sabe que el agua con un pH inferior a 7 se considera ácida (mayor concentración de iones de H⁺), pero para ésta variable, también se tiene un Coeficiente de Asimetría (As) igual a 0.70, los que nos indica que la mayor cantidad de lavados ácidos son menores a su promedio (que corrobora la existencia de una mayor cantidad de observaciones muy ácidas). Ver Tabla 9, 12 y Gráfico 2. Así mismo a partir de las Tablas 10, 12 y Gráfico 3, la Fuerza de Cianuro promedio es de 101.77 ppm, con un coeficiente de variación (CV) del 34%, representando un comportamiento heterogéneo (CV>33%), con un Coeficiente de Asimetría Negativo de -0.15, que significa que la mayor cantidad de observaciones de Fuerza de Cianuro son mayores a su promedio. En lo relacionado a la generación de Gas Cianhídrico, se tiene un promedio de 7.42 ppm, cuando el límite máximo a exposición según el DS N° 055 – 2010 EM, es de 4.70 ppm (ver anexo 4, pág. 63); lo que se logra comprobar observando las Tablas 11,12 y Gráfico 4, nos indica que se registran elevadas puntuaciones de generación de Gas Cianhídrico.

En la Tabla 13, en la parte A de Estadísticas de Regresión, se muestran los resultados del Análisis de Regresión y Correlación de Caudal de Salida Total de Agua Ácida de los Tanques 1 y 2 (m^3/h), pH del agua de lavado ácido, Fuerza de Cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7 y generación de Gas Cianhídrico (ppm), donde se observa un Coeficiente de Correlación (R) de 0.9453, lo que significa la existencia de una alta correlación positiva entre las variables. También se puede visualizar el Coeficiente de Determinación (R^2) de 0.8937 (lo que es lo mismo 89.37%), nos indica que el 89.37% de la variabilidad de la Generación de Gas Cianhídrico es explicada por la variabilidad del Caudal de Salida Total de Agua Ácida de los Tanques 1 y 2 (m^3/h), pH del agua de lavado ácido y la Fuerza de Cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7.

En la Tabla 13, en la Parte B de Análisis de Varianza, se determina que el Caudal de la Salida Total de Agua Ácida de Tanques 1 y 2 (m^3/h), pH del agua de lavado ácido y la Fuerza de Cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7; consideradas como variables independientes, influyen de forma altamente significativa, en la generación del Gas Cianhídrico (ppm), considerada como variable dependiente, al tener un valor de la probabilidad de significancia (p) igual a $7.95E-39$ (bastante menor a $\alpha = 0.01$).

En la Tabla 13, en la Parte C de Estimación de Parámetros, se observa la influencia individual de cada una de las variables independientes sobre la variable dependiente, así el Caudal de la Salida Total (m^3/H) de Agua Ácida de Tanques 1 y 2 (m^3/h), influye de forma altamente significativa sobre la Generación del Gas Cianhídrico, al tener un valor de la probabilidad de significancia (p) individual de $2.16E-39$ (bastante menor a $\alpha = 0.01$). Así mismo los valores de $p = 1.98E-10$ y $p = 9.09E-19$, que son los valores correspondientes a la influencia individual del pH del agua de lavado ácido y la Fuerza de Cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7, respectivamente; influyen de forma altamente significativa sobre la generación de Gas Cianhídrico.

En las Tablas 14, 15 y Gráfico 5, se muestra los resultados de las pruebas de laboratorio desarrolladas, antes y después de aplicar una dosificación de soda cáustica (Solución Neutralizadora), indica que se produce la reducción de la generación de HCN, lo cual comprueba la hipótesis, que con la implementación de un sistema de tratamiento de aguas del lavado ácido del carbón activado se reducirá de forma altamente significativa el gas cianhídrico en la planta de procesos La Quinua. Con la Prueba Estadística de Diferencia de Medias Pareadas cuyos resultados se muestran en la Tabla 16, donde un

valor de $p = 4.28E-15$ ($\alpha < 0.01$), nos hace aceptar la Hipótesis planteada, de una forma altamente significativa.

De la Tabla 5 y Figura 15, se puede observar que la implementación del Sistema de dosificación de solución de soda cáustica al proceso de lavado ácido, a través de pruebas de laboratorio, se realiza con una dosificación de 100 ml de solución de soda cáustica, preparada al 10%, para neutralizar el agua de lavado ácido en un rango de pH de 7.514 a 8.987 para un m^3 de solución ácida. La implementación de éste sistema, consistiría en la compra de materiales y servicio de montaje y soldadura, etc. asciende a US \$ 2,944. 50 (Ver Diseño y cotización en Figura N° 16 y Anexo 4).

De la Tabla 6, se puede observar que la implementación, genera un ahorro de 1'100,121.60 US\$ por año, mejorando así mismo la gestión de la calidad del proceso de lavado ácido.

CONCLUSIONES

- 1) Se implementara un sistema de tratamiento de aguas del lavado ácido del carbón activado, teniendo en cuenta los aspectos ambientales relevantes y la capacidad técnica de la planta de procesos La Quinua.
- 2) El Diagnóstico de la situación actual de la gestión del proceso de lavado ácido, en el área de Procesos La Quinua, indica que técnicamente se viene operando de forma inadecuada, en la etapa del tratamiento de aguas ácidas, producto del lavado ácido del carbón activado cargado, en base a los resultados del monitoreo en Planta y pruebas en laboratorio.
- 3) Se determinó que existe una influencia altamente significativa del Caudal de la Salida Total de Agua Ácida de Tanques 1 y 2 (m³/h), pH del agua de lavado ácido y la Fuerza de Cianuro (ppm) de la solución cianurada del tren 7; consideradas como variables independientes, influyen de forma altamente significativa, en la generación del Gas Cianhídrico (ppm), considerada como variable dependiente.
- 4) Se aplicó la metodología del control de pH para neutralizar la solución de ácido clorhídrico, con una dosificación de 100 ml de solución de soda cáustica, preparada al 10%, para neutralizar el agua de lavado ácido en un rango de pH desde 7.514 a 8.987 para un m³ de solución ácida; mejorando así el diseño original .
- 5) Se demostró de forma altamente significativa la reducción del impacto a la calidad del aire y pérdida de cianuro por generación de gas cianhídrico, teniendo inicialmente una generación promedio de gas cianhídrico de 7.05 ppm antes de la aplicación de la solución neutralizadora y consiguiendo después de la aplicación de ésta, una generación de gas cianhídrico de 0.55 ppm; lo que significa que se ha logrado reducir en un 92.20%., la generación de éste gas, en el circuito de adsorción de columnas de carbón.
- 6) Se implementó un sistema de dosificación de solución cáustica al proceso de lavado ácido mediante una modificación al diseño actual, que costaría 2,944. 50 US \$.
- 7) Se analizó el impacto económico y financiero que generaría la mejora de la gestión de la calidad de la solución ácida en el proceso de lavado ácido del carbón activado

lo que generaría un ahorro de 1'100,121.60 US\$ por año, a la empresa, mejorando así mismo la gestión de la calidad del proceso de lavado ácido.

RECOMENDACIONES

- 1) Una vez que se realice la implementación, se debe monitorear permanentemente el sistema, con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del tratamiento de aguas de lavado ácido, y para realizar los ajustes que oportunamente se considere necesario realizar.
- 2) Se recomienda instalar un equipo dosificador y medidor de pH en línea, en la tubería de la solución cáustica, para que este reactivo sea dosificado según las variables:
 - pH salida total agua ácida de los tanques 1 y 2.
 - Caudal de salida total de agua ácida de los tanque 1 y 2.
- 3) Asegurar el correcto funcionamiento del sistema propuesto y luego de ello, implementar este sistema de tratamiento de aguas ácidas en todas la Plantas de la Empresa y de la Organización.
- 4) Se recomienda que el personal sea capacitado en este trabajo y se realicen las modificaciones pertinentes en los procedimientos de trabajo, para difundir no sólo el diseño seleccionado, sino además su operación, y como complemento al programa ambiental de la Empresa.

REFERENCIAS

- Christen, Hans Rudolf (1977) "FUNDAMENTOS DE LA QUÍMICA GENERAL E INORGÁNICA" Editorial Reverté. Barcelona España
- Domic Mihovilovic, Esteban M.(2001), " HIDROMETALURGIA fundamentos, procesos y aplicaciones ", Andros Impresores Ltda. Santiago – Chile.
- Devore, Jay (2008), "Probabilidad y Estadística, para Ingeniería y Ciencias", International Thomson Editores Séptima Edición. Mexico.
- Esteban Miguel y Domic Mihovilovic (2001). Diagrama Potencial-pH para el sistema CN-H₂O a 25°C.
- Fleming, C. (1990). 1er Simposium Internacional del Oro. Lima.
- Marsden John & House Lain. (1993). The chemistry of gold extraction. Canada: Ellis Horwood Limited.
- Minera Yanacocha (2009). Procedimiento adsorción: transferencia y control de nivel de columnas de carbón. Cajamarca: Documento Institucional.
- Minera Yanacocha (2010). Procedimiento lavado ácido del carbón activado. Cajamarca: Documento Institucional.
- Misari, F.S. (1993). Metalurgia del oro. Lima: Universidad Nacional de San Marcos.
- MWH Perú S.A. (2009). Estudio de Impacto Ambiental Suplementario Yanacocha Oeste. Lima.
- Navarro, P., Vargas, C. & Aguayo, C. (2009). Efecto de las propiedades físicas del carbón activado en la adsorción de oro en medio cianuro. Santiago de Chile: Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales.
- Tecsup. (1999). Recuperación de metales preciosos a partir de soluciones cianuradas. Lima: Tecsup.
- Tomala, Cesar Enrique. (1998). Análisis de un sistema de adsorción y desorción de oro de carbón activado y su electrodeposición. Guayaquil: Escuela politécnica superior del litoral.
- Vargas, Juan. (1990). Metalurgia del Oro y la Plata. Lima: San Marcos. Sociedad Metalúrgica Minera. (1999). Química de la Extracción del Oro. Lima.
- Walpole y Myers (2007). Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias" PRENTICE HALL, INC. Octava Edición. México.
- Yannopoulos, J.C. (1991). The extractive metallurgy of gold. New York: Van Nostrand Remhold.
- Esteban Miguel y Domic Mihovilovic (2001). Diagrama Potencial-pH para el sistema CN-H₂O a 25°C.

ANEXOS

ANEXO N° 1
PROCEDIMIENTO DE LAVADO ÁCIDO DEL CARBÓN ACTIVADO EN
MINERA YANACOCCHA SRL

Yanacocha	PROCEDIMIENTO	Código: OPR-CC-PR-005
OPERACIONES PROCESOS	LAVADO ÁCIDO DEL CARBÓN ACTIVADO	Página 1 de 6 Versión: 00 Fecha de Publicación: 25 de Noviembre de 2010

1 OBJETIVO.

Asegurar que el trabajador realice la tarea de lavado ácido del carbón cargado sin ocasionar accidentes que involucre: daños a la propiedad, salud de los trabajadores y al medio ambiente.

2 ALCANCE.

El presente procedimiento se aplica a todo el personal del área de proceso, que opera columnas de carbón. Para el caso de la Pampa Larga remitirse a la instrucción: **PCC-M-P02-I04.Ver02**. Para el caso de Yanacocha Norte remitirse al documento **PYN-PST01**. Para la Quinua remitirse al instructivo **PCC-M- P02-I01**.

3 DEFINICIONES.

3.1.ÁCIDO CLORHÍDRICO.

Es un Gas incoloro compuesto de cloro e hidrógeno, algo más pesado que el aire y muy corrosivo. Se extrae de la sal común y suele emplearse disuelto en agua, que lo absorbe en gran cantidad; ataca a la mayor parte de los metales.

A temperatura ambiente, hidrógeno es un gas incoloro ligeramente amarillo, corrosivo, no inflamable, más pesado que el aire, de olor fuertemente irritante. Cuando se expone al aire, el cloruro de hidrógeno forma vapores corrosivos densos de color blanco.

3.2. LAVADO ÁCIDO.

El lavado ácido es la etapa que consiste en la eliminación de los carbonatos incrustados en el carbón durante la etapa de adsorción. Estos carbonatos adsorbidos por el carbón, ocupan los poros, mesoporos y microporos del carbón disminuyendo la eficiencia de adsorción.

El lavado ácido para la eliminación de los carbonatos se puede realizar en frío o en caliente, algunas plantas utilizan el ácido nítrico, en nuestro caso usamos el ácido clorhídrico al 33% de concentración. El lavado ácido actualmente se está realizando antes de ingresar el carbón cargado a la etapa de desorción.

Detalle:	Elaborado :	Revisado:	Control:	Aprobado:
Nombre y Apellidos	Juan Carlos Saldaña	Erick Acosta	Abraham Curo	Pedro Condori
Fecha	05/10/10	07/10/10	08/10/10	10/10/10

4 RESPONSABILIDADES.

4.1. SUPERVISOR O CAPATAZ:

- Supervisar que todo el personal conozca y cumpla con el siguiente procedimiento.
- Debe verificar que el personal designado para realizar la tarea esté capacitado en respuesta a emergencias.
- Verificar que el personal designado, este entrenado en primeros auxilios básicos.
- Debe verificar que el personal designado a realizar la tarea este entrenado en el manejo y manipulación de materiales peligrosos.
- Verificar que el personal designado a realizar la tarea use el equipo de protección personal adecuado.

4.2. OPERADOR O TÉCNICO.

- Usar el equipo de protección personal adecuado para el manipuleo de Ácido Clorhídrico.
- Tener conocimiento de la MSDS de ácido clorhídrico.
- Verificar el buen estado y funcionamiento de equipos.
- Reportar la condición final de la operación al Capataz y/o Supervisor.
- Verificar el buen estado y funcionamiento de los equipos empleados.

5. DESCRIPCIÓN.

5.1. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:

- Casco de Seguridad.
- Guantes de neoprene.
- Botas de jebe con punta de acero.
- Mameluco antiácido.
- Tapón de oído.
- Lentes de seguridad.
- Mascara full face con filtros para gases ácidos.
- Equipo de comunicación celular.

5.2. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD:

- El operador tomara todas las precauciones para salvaguardar su integridad física y la de sus compañeros.
- Identificar los peligros potenciales de seguridad.
- Inspección del tanque de lavado ácido, bombas y líneas de transferencia de ácido clorhídrico.
- Identificar los peligros potenciales de seguridad, reportando al capataz y/o supervisor.
- Evitar fuga o derrame de ácido clorhídrico hacia el medio ambiente.
- Verificar el buen estado de los lavaojos y duchas.
- Asegurar que el área de trabajo esté limpia y ordenada.
- Reportar la condición final de la operación a su jefe inmediato.

6. PROCEDIMIENTO.

6.1. Toma de muestras de carbón cargado.

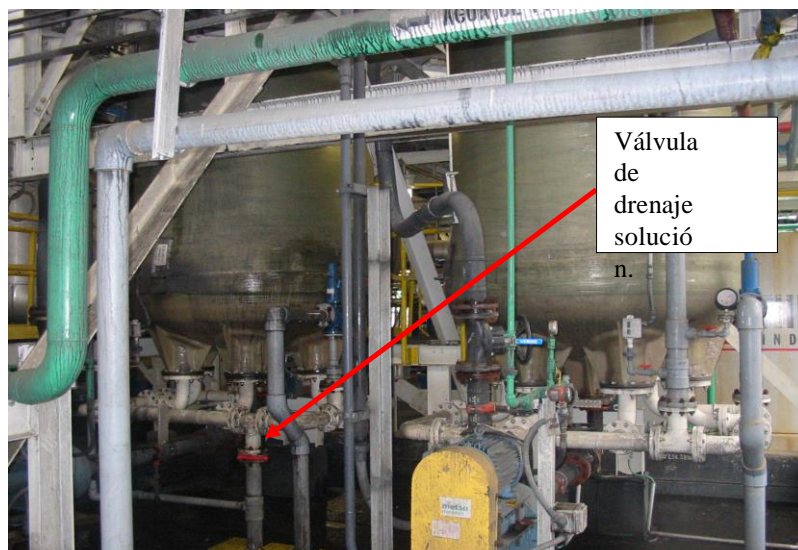
- El operador realizará un compósito del carbón cargado proveniente de las columnas

de adsorción.

- Una vez homogenizado el compósito se procederá a sacar una muestra y contra muestra de carbón.
- La muestra de carbón será entregada a personal de laboratorio químico para su análisis respectivo.
- El peso promedio de esta muestra será de 300 gr. El cual será rotulado con el número de lote al cual se está haciendo el lavado ácido.
- La contra muestra quedará en planta y será almacenado por 1 semana. Si no se requiere será devuelto a las columnas.

6.2. Transferencia de carbón hacia el tanque de lavado ácido.

- Se prende zaranda del tanque de lavado ácido. Se apertura válvula de ingreso de carbón del tanque de lavado ácido, manteniendo la válvula de drenaje abierta.
- Se transfiere carbón hacia el tanque de lavado ácido, la transferencia de carbón se realiza de las primeras columnas de cada tren (Planta 1 y/o 2).
- Terminado de transferir el carbón se apaga la zaranda, se cierran las válvulas de salida de carbón de las columnas de adsorción de los trenes designados a realizar el lavado ácido.
- Se procede a medir el nivel de carbón en el tanque de lavado ácido.
- Una vez medido el nivel de carbón se procede a cerrar la válvula de ingreso de carbón y la de drenaje.



6.3. Transferencia de ácido hacia tanque de lavado ácido.

La transferencia de ácido se puede realizar de dos maneras tanto en forma manual como en automática.

6.3.1. Lavado ácido en forma manual.

- Verificar el estado de líneas, bombas de dosificación y válvulas del circuito de lavado ácido que se encuentren en buen estado para operar.
- Realizar limpieza de filtros externos de los tanques de lavado ácido.
- Se cerrará la válvula de drenaje del tanque de lavado ácido, se aperturará la válvula de ingreso de ácido hacia el tanque de lavado ácido.
- Se seleccionará el tanque de almacenamiento de ácido y la bomba de transferencia a

trabajar.

- Se prenderá la bomba de transferencia de ácido y se procederá a transferir el volumen asignado.
- El volumen de ácido clorhídrico será dado por el departamento de metalurgia de procesos, según el análisis de carbonatos en el carbón.
- Una vez pasado el volumen requerido de ácido se procederá a apagar la bomba y cerrar la válvula de ingreso de ácido, y se iniciara a enjuagar con agua tratada
- Para realizar el enjuague se abrirá la válvula de ingreso de agua tratada al tanque de lavado ácido. Se realizara el enjuague regulando la válvula manual para que el ingreso promedio de agua sea de 30 a 35 m³ / h
- El enjuague se realizara con 150 m³ de agua tratada.
- Terminado el enjuague se procederá a cerrar la válvula de ingreso de agua.

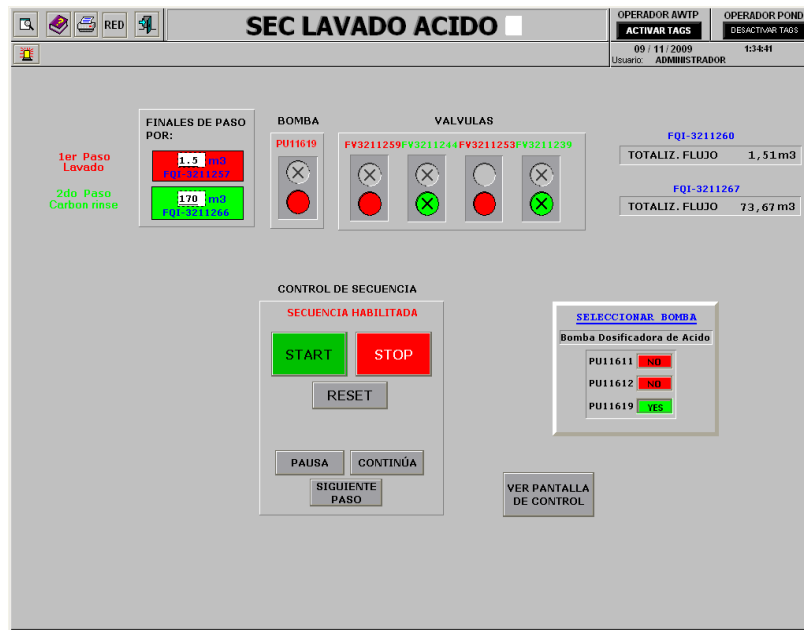


6.3.2. Lavado Ácido en forma automática.

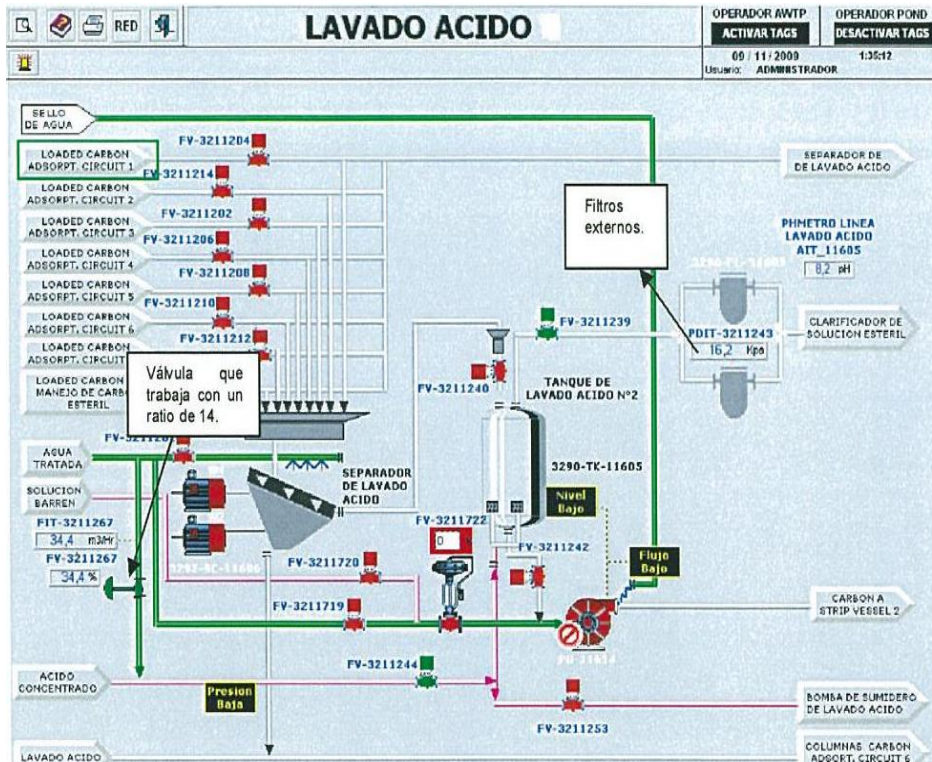
- Verificar el estado de líneas, bombas de dosificación y válvulas del circuito de lavado ácido que se encuentren en buen estado para operar.
- Se selecciona el tanque de almacenamiento de ácido clorhídrico con el cual se va a trabajar.

Se realiza limpieza de los filtros externos del tanque de lavado ácido.

- Se procede a setear, el volumen requerido de ácido clorhídrico, y la del agua para el enjuague. Para de esta manera homogenizar la dilución.
- Se abrirá la válvula manual de succión y descarga de la bomba dosificadora de ácido clorhídrico. Hay que tener presente que cualquier bomba dosificadora de ácido clorhídrico puede trabajar indistintamente con cualquier tanque de almacenamiento de ácido clorhídrico.
- Dosificar ácido clorhídrico al 33% de concentración (el volumen de dosificación de HCL dependerá de las pruebas metalúrgicas), el proceso se realiza en forma automática.



- La selección de aperturas de válvulas en forma automática se encuentra ya instalado en el programa.
- Al lanzar en forma automática las válvulas de ingreso de ácido y agua trabajan con un ratio de 14.
- La solución ácida ingresa al tanque de lavado ácido por la parte inferior, sale por la parte superior donde se encuentra dos filtros.



- Luego de adicionar el ácido se enjuaga con agua tratada hasta llegar a un acumulado de 150 m³.
- Toda la solución remanente del lavado ácido será derivado al Tren 07 columna 02 del proceso de adsorción.
- Una vez realizado el lavado se procede a transferir el carbón hacia el reactor de strip.

6.3.3. Transferencia de carbón con lavado ácido hacia el reactor de desorción.

Remitirse al instructivo: **PCC-M-P03-I01**.

6.3.4. Parámetros Operacionales:

<i>HCl:</i>	<i>1 a 2 m³/h.</i>
<i>Agua:</i>	<i>100 a 150 m³.</i>
<i>Reposo:</i>	<i>30 min.</i>

7. FORMATOS Y REGITROS.

- Formato de desorción y lavado ácido: **PCC-M-P03-F001**.

8. REFERENCIAS

- 8.1. MSDS de ácido clorhídrico.
- 8.2. Procedimiento de medio ambiente MANEJO DE DERRAMES MA-PA-001.
- 8.3. Procedimiento de medio ambiente MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS MA-PA-060.

ANEXO N° 2:
PÉRDIDA DE CIANURO DE SODIO EN KG/DÍA DEL 01/10/2015 al
24/10/2015

PERDIDA DE CIANURO kg/día del 01/10/2015 al 24/10/2015																								
	01/10/2015	02/10/2015	03/10/2015	04/10/2015	05/10/2015	06/10/2015	07/10/2015	08/10/2015	09/10/2015	10/10/2015	11/10/2015	12/10/2015	13/10/2015	14/10/2015	15/10/2015	16/10/2015	17/10/2015	18/10/2015	19/10/2015	20/10/2015	21/10/2015	22/10/2015	23/10/2015	24/10/2015
00:00 Hrs	26.05	89.85	61.74	65.36	194.51	70.89	33.88	196.43	218.37	32.75	20.42	22.40	19.76	14.61	18.33	35.59	45.45	26.64	27.59	156.85	37.93	6.53	10.95	16.68
01:00 Hrs	25.32	201.30	25.87	68.73	169.68	71.80	168.94	162.42	228.82	31.52	16.97	0.31	0.22	10.78	11.74	25.45	9.57	40.76	11.50	22.86	22.51	8.46	12.70	8.14
02:00 Hrs	25.32	201.30	25.87	68.73	169.68	71.80	168.94	162.42	228.82	31.52	16.97	0.31	0.22	10.78	11.74	25.45	9.57	40.76	11.50	22.86	22.51	8.46	12.70	8.14
03:00 Hrs	17.54	165.69	25.76	73.90	216.07	62.32	116.08	168.06	312.26	11.78	7.35	9.48	2.14	34.58	17.00	10.34	17.53	12.74	15.54	4.84	16.64	3.86	26.78	17.88
04:00 Hrs	15.17	165.69	25.76	73.90	216.07	62.32	116.08	168.06	312.26	11.78	7.35	9.48	2.14	34.58	17.00	10.34	17.53	12.74	15.54	4.84	16.64	3.86	26.78	17.88
05:00 Hrs	24.87	140.00	52.99	57.52	140.24	42.62	76.92	175.60	220.79	11.23	40.25	0.79	6.35	9.80	22.31	13.89	24.28	5.67	5.16	6.09	31.74	4.22	10.47	22.02
06:00 Hrs	24.87	140.00	52.99	57.52	140.24	42.62	76.92	175.60	291.08	11.23	40.25	0.79	6.35	9.80	22.31	14.37	24.28	5.67	5.16	6.09	31.74	4.22	10.47	22.02
07:00 Hrs	53.68	104.72	67.41	27.49	213.78	55.72	82.28	238.54	14.03	5.39	25.43	3.92	5.72	29.01	34.77	15.64	37.09	10.43	6.23	21.67	24.54	3.29	7.03	18.08
08:00 Hrs	53.68	104.72	67.41	27.49	213.78	55.72	82.28	238.54	14.03	5.39	25.43	3.92	5.72	29.01	34.77	15.64	37.09	10.43	6.23	21.67	24.54	3.29	7.03	18.08
09:00 Hrs	62.40	105.25	38.02	15.31	141.58	52.64	73.30	257.00	130.66	27.97	20.18	-4.00	64.04	20.64	35.10	39.23	16.32	12.88	4.57	30.68	11.80	10.05	151.07	12.02
10:00 Hrs	62.40	105.25	38.02	15.31	141.58	52.64	73.30	257.00	130.66	27.97	20.18	-4.00	64.04	20.64	35.10	39.23	16.32	12.88	4.57	30.68	11.80	10.05	151.07	12.02
11:00 Hrs	44.91	51.86	29.80	36.94	132.27	60.00	37.03	244.21	31.87	110.93	21.37	6.23	9.89	36.15	38.87	56.26	37.39	-14.89	2.76	48.09	7.60	5.03	88.55	12.03
12:00 Hrs	44.91	51.86	29.80	36.94	132.27	60.00	37.03	244.21	31.87	110.93	21.37	6.23	9.89	36.15	38.87	56.26	37.39	-14.89	2.76	48.09	7.60	5.03	88.55	12.03
13:00 Hrs	48.09	131.02	30.98	106.72	158.82	73.11	32.48	237.11	143.02	173.23	14.51	6.32	19.06	0.38	45.95	14.21	46.46	24.28	5.70	33.90	2.89	2.22	41.19	1.96
14:00 Hrs	48.09	131.02	30.98	106.72	158.82	73.11	32.48	237.11	143.02	173.23	14.51	6.32	19.06	0.38	45.95	14.21	46.46	24.28	5.70	33.90	2.89	2.22	41.19	1.96
15:00 Hrs	45.75	297.42	89.23	130.94	61.23	64.90	61.73	235.18	24.44	218.74	18.09	13.61	16.25	4.37	8.45	18.80	49.43	1.21	37.60	51.06	1.39	2.61	19.31	3.41
16:00 Hrs	45.75	297.42	89.23	130.94	61.23	64.90	61.73	163.44	24.44	218.74	18.09	13.61	16.25	4.37	8.45	18.80	49.43	1.21	37.60	51.06	1.39	2.61	19.31	3.41
17:00 Hrs	22.38	489.13	75.86	98.97	77.63	140.24	74.64	179.97	150.22	1.02	3.85	11.00	42.18	2.91	3.91	4.93	25.90	6.19	40.78	5.77	9.86	2.53	60.02	4.11
18:00 Hrs	22.38	489.13	75.86	98.97	77.63	140.24	74.64	179.97	150.22	1.02	3.85	11.00	42.18	2.91	3.91	4.93	25.90	6.19	40.78	5.77	9.86	2.53	60.02	4.11
19:00 Hrs	28.70	114.65	69.13	120.18	79.08	132.21	79.65	145.74	116.07	64.02	4.46	-5.64	41.42	28.78	4.81	7.08	32.70	-17.48	37.40	14.28	6.00	3.83	2.82	2.73
20:00 Hrs	28.70	114.65	69.13	120.18	79.08	132.21	79.65	145.74	116.07	64.02	4.46	-5.64	41.42	28.78	4.81	7.08	32.70	-17.48	37.40	14.28	6.00	3.83	2.82	2.73
21:00 Hrs	34.22	105.35	68.83	104.04	67.86	120.26	180.21	171.45	40.24	114.37	8.71	11.38	45.42	-29.97	-0.91	42.32	27.88	-18.92	31.06	47.89	5.18	3.31	24.05	12.86
22:00 Hrs	34.22	105.35	68.83	104.04	67.86	120.26	180.21	171.45	40.24	114.37	8.71	11.38	45.42	-29.97	-0.91	42.32	27.88	-18.92	31.06	47.89	5.18	3.31	24.05	12.86
23:00 Hrs	89.85	61.74	65.36	194.51	70.89	33.88	196.43	218.37	32.75	20.42	22.40	19.76	14.61	18.33	35.59	45.45	26.64	27.59	156.85	37.93	6.53	10.95	16.68	34.07
TOTAL x DÍA :	929.27	3964.36	1274.83	1941.35	3181.86	1856.43	2196.85	4773.62	3146.26	1593.56	405.17	148.96	539.77	327.83	497.92	577.80	721.20	179.97	581.05	769.04	324.73	116.29	915.62	281.22
TOTAL x 24 DÍAS:	31244.97	KILOS DE CIANURO DE SODIO																						

ANEXO N°3

EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Nombre	Marca	Uso	Equipo
Balanza Analítica	Mettler-Toledo AB204	Medición de los pesos de reactivos y muestras	
pH-metro	Schott Instruments Lab 850	Verificar el pH de las soluciones cianuradas; antes y después de los ensayos de adsorción.	
Agitador Magnético	Metrohm 728	Agitación de las soluciones para medición de pH.	
Espectrofotómetro de Absorción Atómica	BuckScientific 210 VGP	Medición de la concentración de metales en soluciones antes y después de ensayos.	
Medidor de Gas cianhidrico	Dräger modelo Pac 7000	Medicion de gas cianhídrico.	

ANEXO N° 4
LÍMITES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL PARA AGENTES QUÍMICOS*

TIPOS DE LÍMITES

TWA: Media Moderada en el Tiempo (*Time Weighted Average*). Para comparar con el promedio ponderado en el tiempo de exposición a concentraciones individuales durante toda la jornada de trabajo. Los límites TWA para 8 horas necesitan corrección al ser aplicados a jornadas de trabajo diferentes.

STEL: Exposición de Corta Duración: *Short Time Exposure Level*. Limita las exposiciones a corto tiempo, normalmente 15 minutos. Límite a comparar con la exposición promedio ponderada en el tiempo acumulado durante 15 minutos continuos. La exposición a concentraciones mayores no debe superar los 15 minutos y puede ocurrir un máximo de 4 veces por jornada con descansos de 1 hora mínimo entre exposiciones.

C: *Ceiling* Nivel Techo de Exposición. Límite que en ningún momento deberá ser sobrepasado.

Nº	Agentes Químicos (en el aire)	Límites de Exposición Ocupacional		
		TWA	STEL	Techo (C)
1	Acetona	500 ppm	750 ppm	
2	Ácido Acético	10 ppm	15 ppm	
3	Ácido Clorhídrico			2 ppm
4	Ácido Nítrico	2 ppm	4 ppm	
5	Ácido Sulfhídrico (H ₂ S)	10 ppm	15 ppm	
6	Amoníaco o Anhidro	25 ppm	35 ppm	
7	Anhidrido Sulfuroso (SO ₂)	2 ppm	5 ppm	
8	Antimonio	0.5 mg/m ³		
9	Arseniato de Plomo	0.15 mg/m ³		
10	Arseniato de Calcio	1 mg/m ³		
11	Arsénico (can)	0.01 mg/m ³ A1		
12	Benceno (can)	0.5 ppm (p)		
13	Cianuro (Como CN)			5 mg/m ³ (p)
14	Cianuro de Hidrogeno (HCN)			4.7 ppm(p)
15	Cloro	0.5 ppm	0.1 ppm	
16	Clorobenceno	10 ppm	20 ppm	
17	Cloroformo	10 ppm		
18	Cobre (humo)	0.2 mg/m ³		
19	Cobre (polvo/neblina)	1 mg/m ³		
20	Dióxido de Carbono	5000 ppm	30000 ppm	
21	Dióxido de Nitrógeno	3 ppm	5 ppm	
22	Éter Etílico	400 ppm	500 ppm	
23	Fluoruro de Hidrogeno (HF)			2.5 mg/m ³
24	Formaldehído			0.3 ppm
25	Fosgeno	0.1 ppm		
26	Gasolina	500 ppm		
27	Hidrógeno (H)			5000 ppm
28	Humo de Cadmio (can)	0.01 mg/m ³		
29	Humo de Óxido Férrico	5 mg/m ³		
30	Manganeso	0.2 mg/m ³		
31	Mercurio	0.025 mg/m ³ (p)		
32	Metano (CH ₄)			5000 ppm
33	Monóxido de Carbono (CO)	25 ppm		
34	Mónóxido de Nitrogeno	25 ppm		
35	Neblina de ácido sulfúrico	1 mg/m ³	3 mg/m ³	
36	Oxígeno (O ₂)	19.5 %		22.5 %
37	Ozono Trabajo Pesado	0.05 ppm		
38	Ozono Trabajo Moderado	0.08 ppm		
39	Ozono Trabajo Ligero	0.1 ppm		
40	Ozono Trabajo Cualquiera (<= 2 horas)	0.2 ppm		
41	Plomo	0.05 mg/m ³		
42	Polvo de Carbón - Antracita	0.4 mg/m ³		
43	Polvo de Carbón - Bituminoso	0.9 mg/m ³		
44	Polvo inhalable (1)	10 mg/m ³		
45	Polvo respirable (1)	3 mg/m ³		
46	Selenio	0.2 mg/m ³		
47	Slíce Cristalino Respirable (Cristobalita)	0.05 mg/m ³		
48	Slíce Cristalino Respirable (Cuarzo)	0.05 mg/m ³		
49	Slíce Cristalino Respirable (Tridimita)	0.05 mg/m ³		
50	Slíce Cristalino Respirable (Tripoli)	0.1 mg/m ³		
51	Talio, Compuestos solubles de	0.1 mg/m ³ (p)		
52	Telurio	0.1 mg/m ³		

ANEXO N°5

COTIZACIÓN DE SERVICIO DE IMPLEMENTACIÓN PARA LA DOSIFICACIÓN DE SODA CÁUSTICA HACIA DESCARGA DE SOLUCIÓN ÁCIDA



SERVICIOS PUNTUALES, MENORES Y NO REPETIVOS					ADM. CONTRAT	Nº	FFP-00061-2013													
<p><i>Posición de Joda Costru hacia descargo de solución ácida.</i></p>					SOLICITANTE	AREA CONTRATOS MYSIL	administracion@symisrl.pe @symisrl.pe													
					Nº PROFORMA	2015-MY-45														
					VISITA TÉCNICA															
					EMISIÓN															
					CODIGO	400006340/10														
DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO A REQUERIR <i>(IDENTIFICAR BASE DE ACTIVIDADES A CARGO DE YANACOCHA)</i>					CRONOGRAMA															
PLANTA LA QUINUA 0					Días															
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
					2															
					3															
					4															
					5															
					6															
					7															
					8															
					9															
10																				
PLAZO DE EJECUCIÓN DEL SERVICIO					HISTOGRAMA DE MAND DE OBRA (A SER DEFINIDO POR EL CONTRATISTA)															
MANO DE OBRA (A SER DEFINIDO POR EL CONTRATISTA)					HISTOGRAMA DE MAND DE OBRA (A SER DEFINIDO POR EL CONTRATISTA)															
ITEM	FUENTE DE TRABAJO	Cant.	Cant/HH	Valor H/h	Valor Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
01	Supervisor	1	20	US\$ 12,04	US\$ 240,80	1	1													
07	Soldador BG	1	20	US\$ 12,10	US\$ 242,00	1	1													
08	Oficial Soldador	1	60	US\$ 6,41	US\$ 384,60	1	1													
VALOR TOTAL DE LA MANO DE OBRA					USD 867,40															
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS (A SER DEFINIDO POR EL CONTRATISTA)					RESPONSABILIDADES DE YANACOCHA (A SER DEFINIDO POR YANACOCHA) (EL CONTRATISTA PUEDE HACER OBSERVACIONES)															
ITEM	DESCRIPCIÓN	H. Ma	C.UNITARIO	V. TOTAL																
2	Amoladora/ Esmeril	10,0	US\$ 0,54	US\$ 5,40																
3	Taladro de mano		US\$ 0,46	US\$ 0,00																
4	Taladro HILTY		US\$ 0,79	US\$ 0,00																
5	Maquina Soldar 440 Amp	10,0	US\$ 2,00	US\$ 20,00																
6	Extintores	10,0	US\$ 0,12	US\$ 1,20																
7	Tablero eléctrico	10,0	US\$ 0,54	US\$ 5,40																
VALOR TOTAL DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					USD 32,00	RESPONSABILIDADES DEL CONTRATISTAS (LAS BASICAS A SER DEFINIDAS POR YANACOCHA)														
MATERIAL DE APLICACIÓN / CONSUMO (A SER DEFINIDO POR EL CONTRATISTA)					Operar con sus propios recursos financieros, técnicos y materiales, con autonomía técnica y funcional, asumiendo las tareas contratadas por su cuenta y riesgo, y con personal que se halle bajo su exclusiva subordinación. Proveer los Equipos de Protección Personal (EPP) necesarios, a los recursos humanos que pudiera utilizar para la correcta ejecución															
DESCRIPCIÓN	Und	Cant	C.UNITARIO	V. TOTAL																
25 DISCO DESBASTE DE 7" PARA FIERRO	UND		US\$ 3,50	US\$ 0,00																
26 TUBO INOX 304 2"X20X02M	UND	3,00	US\$ 506,00	US\$ 1.518,00																
27 DISCO DIAMANTADO PARA CONCRETO	UND		US\$ 21,99	US\$ 0,00																
28 DURAPLATE UHS-15 (A+B)	UND		US\$ 68,40	US\$ 0,00																
60 SOLDADURA 1/8" INOX 29/9	KG	3,00	US\$ 40,32	US\$ 120,96																
VALOR TOTAL APLICACIÓN / CONSUMO					USD 1.638,96	OBSERVACIONES (A SER DEFINIDO POR EL CONTRATISTA)														
DOCUMENTOS DE REFERENCIA (A SER DEFINIDO POR YANACOCHA)					HORAJO DE TRABAJO.....															
COMPOSICIÓN DE COSTOS					ASPECTOS COMERCIALES															
		PORCENTUAL	USD																	
MANO DE OBRA		34%	US\$ 867,40	CONDICIÓN DE PAGO																
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		1%	US\$ 32,00	CUALQUIER ACTIVIDAD NO CONTEMPLADA ESTA CONSIDERADO COMO:																
MATERIALES DE APLICACIÓN / CONSUMO		65%	US\$ 1.638,96	VALORES DE LA PROPUESTA																
GASTOS GENERALES		8,5%	US\$ 215,76	FACTURA A 30 DIAS																
UTILIDAD		7,5%	US\$ 190,38	ADICIONAL 10 DIAS																
TOTAL			USD 2.944,50	DIVISIÓN DE LOS SERVICIOS																
					(A SER DEFINIDO POR EL CONTRATISTA)															

ANEXO N° 6

COTIZACIÓN PRECIO DE CIANURO DE SODIO



Display Material 60355084 (Spare Part_Operating Sup)

Material: 60355084 HEMICAL;SODIUM CYANIDE;SLD;22700KG;TANK
 Plant: 3000 Yanacocha

Period 011.2015 | Period 010.2015 | Period 012.2014 | Future costing run

General Valuation Data

Total Stock	0.00	Base Unit	KG kg
Division		Valuation Cat.	
Valuation Class	3008	<input type="checkbox"/> Valuated Un	
VC: Sale Ord. Stk		<input checked="" type="checkbox"/> ML act.	Mat. Price Analysis
Project Stock VC		Price Determ.	2 Transaction-Based

Prices and values

	Currency PEN	USD
	Company code currency	Group currency
Standard Price	0.00	0.00
Per. unit price	734.54	237.57
Price Unit	100	100
Prc. Ctrl	V	V
Inventory Value	0.00	0.00
Value/per.unit pr	0.00	0.00
Future price	0.00	0.00
Future price from		

CIANURO: PRECIO POR 100 KG, 734.54 SOLES, Y/O 237.57 DOLARES.

ANEXO N°7

COTIZACIÓN PRECIO DE HIDRÓXIDO DE SODIO (SODA CÁUSTICA)

Display Material 62044421 (Spare Part_Operating Sup)
 Additional Data Org. Levels

Plant data / stor. 2 Accounting 1 Accounting 2 Plant stock Stor. loc. s...

Material 62044421 **AUSTIC SODA;500KG;8IG BAG** **i**
 Plant 3000 Yanacocha

Period 011.2015 Period 010.2015 Period 012.2014 Future costing run

General Valuation Data

Total Stock	111,000.00	Base Unit	KG kg
Division		Valuation Cat.	
Valuation Class	3004	<input type="checkbox"/> Valuated Un	
VC: Sale Ord. Stk		<input checked="" type="checkbox"/> ML act.	Mat. Price Analysis
Project Stock VC		Price Determ.	2 Transaction-Based

Prices and values

	PEN	USD
	Company code currency	Group currency
Standard Price	0.00	0.00
Per. unit price	2.06	0.65
Price Unit	1	1
Prc. Ctrl	V	V
Inventory Value	228,524.54	72,505.24
Value/per.unit pr	0.00	0.00
Future price	0.00	0.00
Future price from		
Previous price	0.00	

SODA CÁUSTICA: PRECIO POR 01 KG 2.06 SOLES, Y/O 0.65 DE DOLAR x KG

ANEXO N° 8

FOTOS DE PRUEBAS EN LABORATORIO

Lugar donde se descarga la solución acida. T7C3



Tks de ácido

Ubicación de pH de salida de L.A



pH en línea de salida de lavado ácido



Tks de lavado ácido



Punto de muestreo de solución ácida



Monitoreo de gas cianhidrico



