

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.

Yadira Luna

MGA, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Universidad Internacional SEK, Campus Miguel de Cervantes Calle Alberto Einstein s/ny 5ta. Transversal, (Carcelén) Quito-Ecuador, Telf. 3974800, cyberluna@hotmail.es

RESUMEN

Se realizó el tratamiento del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A. del proceso de lavado de piezas de acero provenientes de tratamientos térmicos y termoquímicos para disminuir la presencia de cianuros, para lo cual se aplicó oxidación química mediante el uso de tres agentes oxidantes: Peróxido de Hidrógeno al 30%, Peróxido de Hidrógeno al 30% más Sulfato de Cobre Pentahidratado como catalizador e Hipoclorito de Sodio al 10%. Para cada experimento se realizaron tres dosificaciones, a tiempos de 30 minutos y 60 minutos; se trabajó con una concentración inicial de cianuros totales de 32.250 mg/l, temperatura constante de 24°C y velocidad de agitación de 700 rpm. Tanto en las muestras de agua sin tratar como en las muestras tratadas se midió pH, conductividad, oxígeno disuelto y cianuros totales. El tratamiento más eficiente fue el de peróxido de hidrógeno con catalizador en una dosificación de (0.058ml + 0.07g) respectivamente a un tiempo de 60 min, con un 82.8% de reducción de cianuros totales. Posteriormente una vez oxidada el agua residual se aplicó a la misma un tratamiento de clarificación dosificando Policloruro de Aluminio como coagulante y Polímero Aniónico como floculante, obteniendo que la concentración óptima fue de 200 ppm y 2 ppm respectivamente con un 97.19% de reducción de turbidez y un 92% de reducción del color. Se concluye que se logró oxidar los cianuros a cianatos que son elementos menos tóxicos para el ambiente y salud de los trabajadores de la empresa proponente

Palabras claves: Agua Residual / Cianuros / Oxidación Química / Agentes Oxidantes / Cianatos

ABSTRACT

Treatment of waste water has been made from washing of steel from thermal and thermochemical treatments performed to reduce the presence of cyanides Aceros Bohler of Ecuador SA, for which chemical oxidation was applied using three oxidizing agents: Peroxide Hydrogen 30% Hydrogen peroxide 30% Copper Sulfate Pentahydrate more catalyst and Sodium hypochlorite 10%. For each experiment was performed three dosages, at times 30 minutes and 60 minutes; we worked with an initial concentration of total cyanides 32.250 mg / l, constant temperature of 24 ° C and agitation speed of 700 rpm. Both water samples untreated and treated samples pH, conductivity, dissolved oxygen and total cyanides was measured, and these water quality parameters. From the results it was found that the most efficient treatment was the hydrogen peroxide catalyst dosing (0.058ml + 0.07g) respectively to a time of 60 min, with an 82.8% reduction of total cyanides. Subsequently once oxidized waste water was applied to the same treatment clarification dosing aluminum polychloride as coagulant and anionic polymer as a flocculant, obtaining the optimal concentration was 200 ppms and 2 ppms respectively with 80% color reduction and 70% reduction in turbidity. Concluding that achieved oxidize cyanides to cyanates elements that are less toxic to the environment and health of workers of the proposing company.

KEY WORDS: Waste water / Cyanides / Chemical oxidation / Oxidizing agents / Cyanates

1. INTRODUCCIÓN

Las actuales exigencias tecnológicas ponen de manifiesto la necesidad de disponer de materiales metálicos con elevadas prestaciones bajo condiciones de servicio críticas, así por ejemplo las matrices metálicas empleados en los procesos metalúrgicos del trabajo en frío y caliente de los metales, necesitan de una alta tenacidad y elevada dureza superficial, especialmente a alta temperatura, propiedades dadas por los tratamientos térmicos o termoquímicos. En numerosas aplicaciones industriales tales como la industria petrolera, automotriz, metal mecánica, entre otras; es necesario que algunas piezas tengan la superficie muy dura y resistente al desgaste y la parte central o núcleo, muy tenaz y relativamente blanda. (Díaz, 2007)

“Las sales de cianuro han sido uno de los elementos básicos para realizar estos tratamientos, sin embargo tienen propiedades tóxicas, por lo que desde hace muchos años se empezó a nivel industrial a considerar la importancia de degradar los cianuros.

Existen varios métodos para la degradación del cianuro en efluentes industriales, basados en disminuir la concentración de cianuro a niveles asimilables para los seres vivos, se pueden clasificar en: Degradación natural, Oxidación química, Precipitación, Biodegradación y Recuperación del cianuro” (Estefani, 2013)

El método que se aplicó para el tratamiento de aguas residuales en este estudio se basó

en la oxidación química, “para lo cual se utilizó compuestos que actúen como agentes oxidantes del ion cianuro para degradarlo a cianato que es su forma menos tóxica” (Román, 2011), algunos de los oxidantes utilizados para este fin son el hipoclorito de sodio (NaClO), el peróxido de hidrógeno (H₂O₂), el ácido de caro (H₂SO₅) y el ozono (O₃) (Gómez, 2012), se controlaron las variables de tiempo de reacción, temperatura y velocidad de agitación.

Con los resultados obtenidos se determinó la eficiencia del tratamiento, considerando que los límites permisibles del cianuro total se acerquen a los valores indicados en la legislación vigente ambiental, según el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Una vez que se realizó la oxidación química del agua residual se aplicó a la misma un tratamiento de clarificación siguiendo el método de coagulación y floculación.

Para el desarrollo del trabajo se tomó como base algunos trabajos de investigación siendo los de mayor soporte los de (Gaviria, 2006) y (Gómez, 2012).

Con el tratamiento de las aguas residuales de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.; se logró un beneficio tanto para la empresa proponente como para el ambiente, ya que por la reducción de la carga contaminante se disminuyó los impactos ambientales negativos causados por el agua residual. Para la empresa a pesar que inicialmente le representará un costo, el

beneficio será permanente; ya que contará con su propio tratamiento de aguas residuales y no dependerá de contrataciones externas para este servicio. Este proyecto tiene una gran implicación sobre la seguridad y salud de los trabajadores de la empresa puesto que disminuirá los riesgos de toxicidad del cianuro, salvaguardando de esta manera la integridad física de los mismos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Los productos químicos utilizados para la oxidación química fueron el peróxido de hidrógeno al 30% de concentración, el sulfato de cobre pentahidratado y el hipoclorito de sodio al 10% de concentración. Para la clarificación del agua se usaron el sulfato de aluminio y policloruro de aluminio como coagulantes, el polímero aniónico como floculante, el ácido clorhídrico para regular el pH y agua destilada para preparar las soluciones.

2.2. Métodos

2.2.1. Selección de agentes oxidantes para la oxidación química del cianuro

Con base en los trabajos de investigación y los resultados obtenidos se determinó que los agentes oxidantes más aplicados son el peróxido de hidrógeno y el hipoclorito de sodio, considerando sus propiedades eficaces como oxidantes y principalmente que los productos generados bajo condiciones controladas no resultan tóxicos para el ambiente, por lo que se seleccionó estos dos agentes para la oxidación química del cianuro en este estudio.

2.2.2. Selección de parámetros a medir en muestras de agua residual y en agua tratada

Los parámetros que se determinaron en el agua residual son los siguientes Físicos: Temperatura y conductividad, Químicos: pH y concentración de cianuros y Gases: oxígeno disuelto.

En el agua tratada mediante oxidación química se midieron todos los parámetros antes mencionados y como complemento para la caracterización física de la misma se midieron color y turbidez.

2.2.3. Determinación de variables para el tratamiento de agua residual.

Para los muestreos experimentales del tratamiento de agua residual mediante oxidación química se consideró como variables dependientes (Concentración de cianuro del agua tratada), variables independientes (Volumen dosificado de Agente oxidante, Tiempo de Reacción) y constantes para los muestreos (Concentración inicial de cianuro de sodio (mg/l) para cada ensayo, Volumen de la muestra para cada ensayo, pH, Temperatura, Velocidad de agitación).

2.2.4. Determinación de volúmenes e dosificar de los agentes oxidantes

Para obtener las dosificaciones del agente oxidante para cada experimento se partió de datos ya estudiados de fuentes bibliográficas confiables en donde indica que para oxidar 1 gramo de cianuro se requiere de (2 a 8) gramos de peróxido de hidrógeno y de (3 a 8) gramos de hipoclorito de sodio. A continuación en la Tabla 1 se indica las

dosificaciones que se aplicaron para el tratamiento químico del agua residual:

Tabla 1: Dosificaciones de Agentes Oxidantes

Dosificaciones	H ₂ O ₂ (ml)	H ₂ O ₂ (ml) + CuSO ₄ ·5H ₂ O ₂ (g)	NaClO (ml)
D1	0.058	0.058 + 0.07	0.042
D2	0.087	0.087 + 0.07	0.062
D3	0.23	0.23 + 0.07	0.17

Fuente: Luna, 2016

2.2.5. Determinación de variables para la clarificación del agua

Las variables que se consideraron en el tratamiento del agua para la clarificación fueron las siguientes: variables dependientes (Color y Turbidez), variables independientes (Concentración de coagulante) y como constantes (Volumen de la muestra para cada ensayo, Concentración de floculante, Velocidad de agitación con el coagulante, Velocidad de agitación con el floculante, Tiempo de reacción con el coagulante y Tiempo de reacción con el floculante).

2.2.6. Toma de muestras del agua residual del tanque de lavado de piezas de acero de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.

Previo a la toma de muestras para la cuantificación de cianuros inicial se realizó el mantenimiento del tanque de lavado de piezas de acero y se colocó agua limpia con el fin de evaluar la concentración de cianuros que se incrementan con el tiempo y la influencia que tiene la producción. A continuación el procedimiento:

- 1) Antes de la toma de muestra de agua residual del tanque de lavado se agitó el

agua residual para obtener una mezcla homogénea y se tomó la misma manualmente en una botella de plástico de capacidad de 1.5 L esterilizada, introduciendo la botella a profundidad de 20 cm, seguidamente se tapó para evitar contaminación.

- 2) En el laboratorio de la empresa se colocaron 250 ml de muestra en un vaso de precipitación para medir los parámetros de pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Temperatura. Con el resultado de pH se verificó si tiene un pH básico mayor o igual a 11.5 para asegurar la preservación de la muestra y evitar pérdida de cianuro por la formación de ácido cianhídrico con pH inferiores al rango indicado. Para el caso de muestras que no cumplieron con el pH se colocó hidróxido de sodio hasta alcanzar el pH deseado.
- 3) La botella con agua residual de 1L aproximadamente bien tapada se etiquetó con el número de muestra, fecha y hora y luego se envolvió en papel aluminio para evitar la degradación de cianuro por el ingreso de luz solar. Para el transporte de la muestra al laboratorio externo se refrigeró la muestra en un cooler verificando que la temperatura esté a 4°C para conservar la muestra y que no exista variación en la cuantificación de cianuros.

2.2.7. Tratamiento de Agua residual mediante oxidación química

Se realizaron tres experimentos para el tratamiento de agua residual: el primero con peróxido de hidrógeno, el segundo con

peróxido de hidrógeno más catalizador y el tercero con hipoclorito de sodio. Se siguió el procedimiento a continuación.

- 1) Se colocó 500 ml de agua residual en un vaso de precipitación a una concentración de 32.250 mg/l de Cianuros Totales y se controló que el pH sea de 11.5.
- 2) Se dosificó con una pipeta el agente oxidante y se calentó la muestra en el plato de calentamiento y agitación y se controló la temperatura de 24°C con el termómetro digital.
- 3) Durante 30 minutos, se agitó la muestra en el plato de calentamiento y agitación a 700 rpm.
- 4) Posterior al tratamiento se midió pH, Conductividad y Oxígeno Disuelto con el equipo multiparámetros Hach.
- 5) Se realizó tres repeticiones bajo las mismas condiciones.
- 6) Posterior al tratamiento del agua residual se envasó las muestras en botellas plásticas esterilizadas, bien tapadas, y seguidamente se envolvieron en papel aluminio. Se colocaron las muestras en un cooler a 4°C y se enviaron al Laboratorio OSP para el análisis de cianuros.

2.2.8. Clarificación del agua

La clarificación del agua tratada se realizó mediante la prueba de jarras (Método de Coagulación y Floculación) para lo que se utilizó como coagulantes el Sulfato de Aluminio y el Policloruro de Aluminio (PAC) y un floculante el Polímero Aniónico, dado a sus características eficientes para este tratamiento, se evaluaron varias concentraciones de los mismos en

volúmenes de agua de 250 ml y en función de la clarificación obtenida se seleccionó los químicos y concentraciones a dosificar.

A continuación el procedimiento:

- 1) Se midió el pH del agua tratada con H_2O_2 (30%) + $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dado a que el pH del agua fue de 12.4 se dosificó ácido clorhídrico al 10% hasta alcanzar un pH neutro.
- 2) Se colocó 250 ml del agua tratada en 7 vasos de precipitación (jarras), de los cuales uno sirvió como patrón para verificar la clarificación del agua.
- 3) Se colocó 100 ppm de Sulfato de Aluminio al 1% en el primer vaso, 200 ppm en el segundo vaso, 300 ppm en el tercer vaso, 400 ppm en el cuarto vaso, 500 ppm en el quinto vaso y 600 ppm en el sexto vaso.
- 4) Posterior se colocó los vasos en el equipo de prueba de jarras y se agitó las muestras a 300 rpm durante 10 min para realizar el proceso de coagulación
- 5) Luego se colocó 2 ppm de Polímero Aniónico al 0.1% en cada vaso de precipitación y se continuó con la agitación disminuyendo a 100 rpm por un tiempo de 5 min para realizar el proceso de floculación.
- 6) Finalmente se dejó en reposo las muestras de agua clarificada durante 10 min para que se sedimenten los sólidos y poder seleccionar la muestra que obtuvo una mayor clarificación.

Se realizó el mismo procedimiento como en el Experimento 1 pero con dosificaciones del coagulante Policloruro de Aluminio al 1%.

De las 6 muestras obtenidas del experimento 1 se seleccionó visualmente la muestra con mayor clarificación al compararla con la muestra patrón, de igual manera se seleccionó para el experimento 2. De las dos muestras se seleccionó la más clara y se observó que los sólidos sedimentados sean compactos, se filtró y posteriormente se midió color y turbidez del agua clarificada para comparar con la muestra sin producto químico. Estos parámetros se determinaron en el Laboratorio Externo Umwelt.

3. RESULTADOS

3.1. Resultados de cuantificación de cianuros totales del agua residual

Los resultados de cianuros totales de las 6 muestras del agua residual de presentan en el siguiente gráfico:

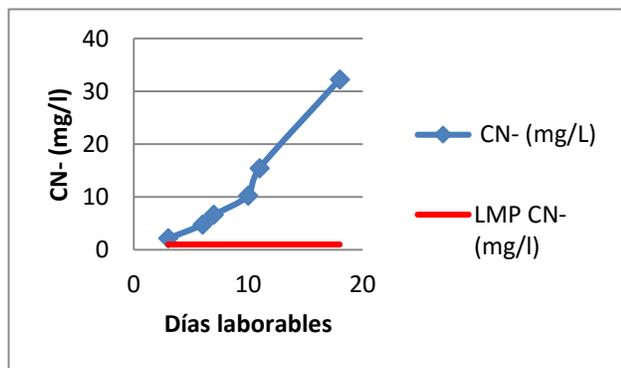


Figura 1: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función de días de producción laborables de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A. (Autor: Luna, 2016)

De los resultados de cianuros totales en la Figura 1 se tiene que en función de los días de producción laborables existe incremento de la contaminación del agua residual por cianuros, llegando en 4 semanas (17 días

laborables) a un valor de 32.250 mg/l, lo que indica que se encuentra bastante alejado hacia afuera del límite permisible establecido por la normativa ambiental vigente (1mg/l); por lo que requiere de un tratamiento para al menos tratar de acercarse a los límites considerando que se realizará recirculación para el proceso de lavado.

3.2. Resultados de reducción de cianuros después del tratamiento del agua residual

A continuación se presentan los resultados de eficiencia de los tratamientos químicos del agua residual:

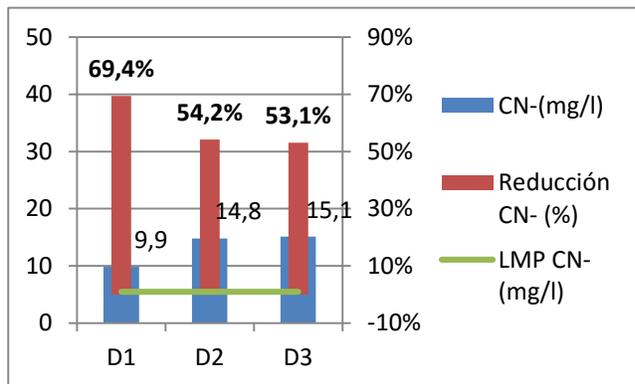


Figura 2: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a un t=30 min, con D1, D2 y D3 (Autor: Luna, 2016)

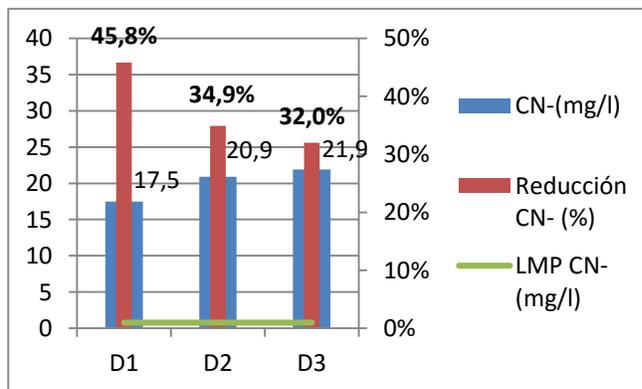


Figura 3: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua

residual con H₂O₂ (30%) a un t=60 min, con D1, D2 y D3 (Autor: Luna, 2016)

En las Figuras 2 y 3 se observa que la oxidación química que mostró mayor eficiencia en el tratamiento con H₂O₂ (30%) es la dosificación 1 (0.058ml) a un tiempo de reacción de 60 min, obteniendo un % de Reducción de Cianuros totales del 45.8%, para las tres dosificaciones aplicadas en un tiempo de 30 min se tuvo una reducción baja entre el 12 y 20%.

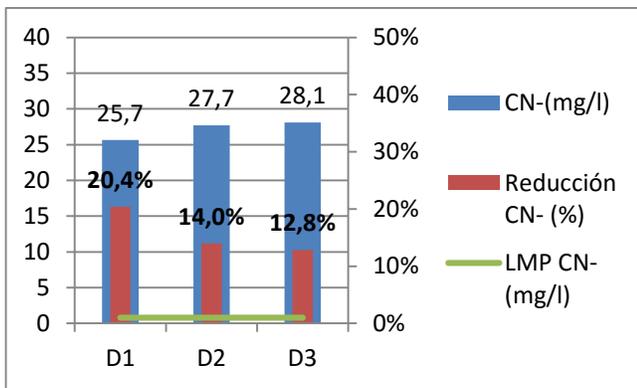


Figura 4: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a un t=30 min, con D1, D2 y D3 (Autor: Luna, 2016)

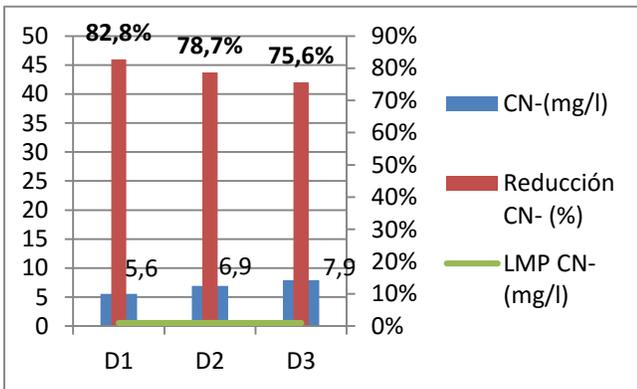


Figura 5: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a un t=60 min, con D1, D2 y D3

En las Figuras 4 y 5 se observa que existió una gran influencia al adicionar catalizador al peróxido de hidrógeno al 30%, obteniendo que la dosificación más eficiente para la oxidación química de cianuros a cianatos fue la dosificación 1 (0.058 ml + 0.07g) a un tiempo de 60 min, para las dosificaciones 2 y 3 se aprecia que la influencia del aumento de tiempo de 30 min a 60 min influye en la disminución de cianuros en un porcentaje que varía entre 22 y 24%.

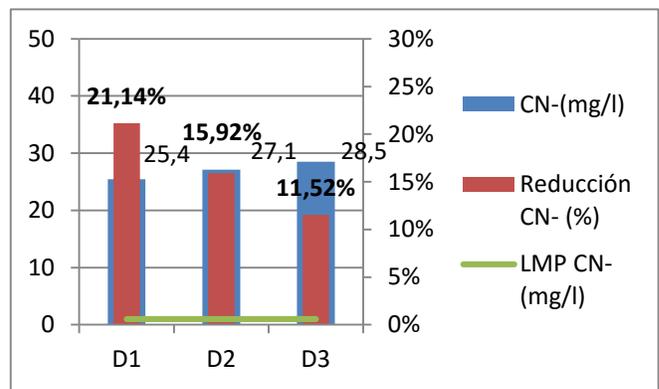


Figura 6: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a un t=30 min, con D1, D2 y D3 (Autor: Luna, 2016)

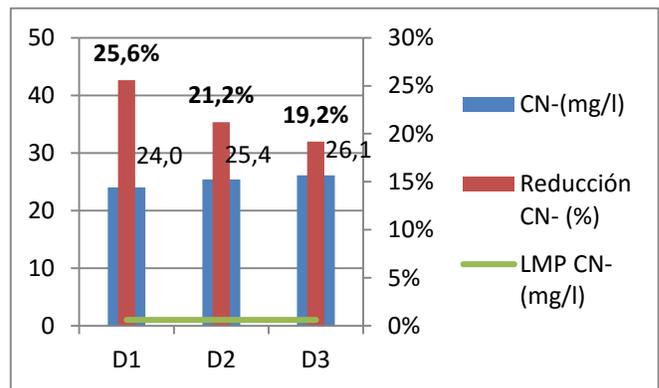


Figura 7: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a un t=60 min, con D1, D2 y D3 (Autor: Luna, 2016)

En las Figuras 6 y 7 se observa que el tratamiento con hipoclorito de sodio al 10% resultó poco eficiente, obteniendo bajos % de reducción que oscilan entre 11 y 25 % de cianuros totales, tanto a 30min como a 60 min.

A continuación en la Tabla 2 se presentan los resultados de color y turbidez medidos de la muestra sin clarificación y de la muestra seleccionada que presentó la mejor clarificación y sedimentación de los ensayos realizados.

Tabla 2: Resultados de Color y Turbidez

Muestra	Color (Units PtCo)	Turbidez (FNU)
Agua tratada con H ₂ O ₂ (30%) + CuSO ₄ .5H ₂ O	429	453
Agua clarificada con 200 ppm PAC + 2 ppm Polímero Aniónico)	34	12.62

Fuente: Luna, 2016

Considerando las variables de eficiencia del método de oxidación química, tiempo de reacción y consumo de químicos, se determinó que el método idóneo para la empresa es el de H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O con la dosificación (0.058ml + 0.07g) respectivamente en un tiempo de 60 min, ya que la cantidad dosificada de químicos es pequeña y similar a la de los otros agentes oxidantes, así como también se considera que es un tiempo adecuado para realizar el tratamiento sin afectar a la productividad de la empresa y principalmente por la reducción eficaz de cianuros con respecto a los otros agentes oxidantes.

3.3. Pre diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales

Con el fin de realizar en la empresa ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. el tratamiento químico de agua residual se requiere de una planta para aplicar el mismo, considerando los procesos de oxidación química y clarificación del agua, y con el enfoque de recirculación del agua tratada como alimentación al tanque de lavado de piezas tratadas bajo procesos térmicos y termoquímicos, a continuación se presenta en la Figura 8 el pre diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de forma general quedando a consideración de la empresa la implementación.

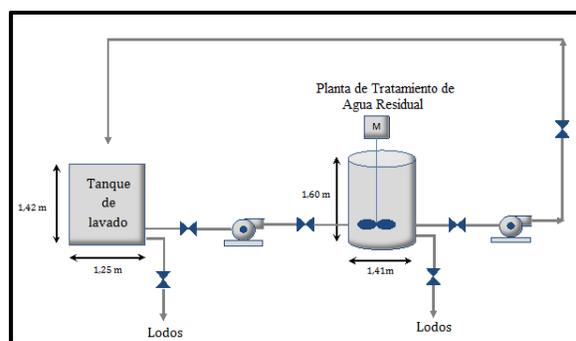


Figura 8: Pre diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual proveniente del tanque de lavado de la Empresa Aceros Boehler de Ecuador S.A

Fuente: Luna, 2016

3.4. Costo del tratamiento del agua residual

Para ello se considera la capacidad del tanque de lavado y la capacidad operativa, siendo esta última equivalente al volumen del agua que se tratará en la planta de tratamiento del agua residual: Capacidad del tanque de lavado equivalente a 2,27 m³ y Capacidad operativa del tanque de lavado equivalente a 2,00 m³.

Considerando que el volumen a tratar de agua residual mensualmente es de 1,82 a 2,00 m³, se tomó este intervalo dado a pérdidas de agua durante el proceso al momento de sacar las piezas mojadas a secar, a continuación en la Tabla 3 el costo del tratamiento:

Tabla3: Costo aproximado del Tratamiento del Agua Residual para la Empresa Aceros Boehler del Ecuador S.A.

Actividades para el Tratamiento del Agua Residual	\$ + IVA
Análisis de Cianuros del agua residual en laboratorio externo	13.00
Tratamiento de agua residual por oxidación química con H ₂ O ₂ (30%) + CuSO ₄ .5H ₂ O	3.23
Análisis de Cianuros del agua tratada químicamente en laboratorio externo	13.00
Análisis de color y turbidez en laboratorio externo	14.50
Clarificación del agua	30.36
Reactivos adicionales para preparar soluciones y regular el pH	2.00
Análisis de color y turbidez en laboratorio externo	14.50
Total (mensual)	90.59
Planta de tratamiento de agua residual	630.00
Costo total del tratamiento al primer mes	720.59

Fuente: Luna, 2016

4. CONCLUSIONES

- Se logró disminuir la presencia de cianuros del agua residual de la empresa Aceros Boehler del Ecuador S.A, reduciendo la carga contaminante con respecto a la inicial mediante la oxidación química de cianuros a cianatos, siendo importante la aplicación del tratamiento para disminuir los impactos ambientales generados por el agua y por los impactos

a la salud de los trabajadores por el alto grado tóxico de los cianuros.

- De los tres experimentos realizados con los diferentes agentes oxidantes se obtuvo para la oxidación de cianuros con peróxido de hidrógeno al 30% una reducción del 45.84% con la dosificación 1 (0.058ml), con el uso de peróxido de hidrógeno al 30% con adición del catalizador sulfato de cobre pentahidratado se obtuvo un 82.76% de reducción de cianuros con la dosificación 1 (0.058ml + 0.07g) respectivamente y con el hipoclorito de sodio al 10% se obtuvo el 25.6% de reducción con la dosificación 1 (0.064ml), lo que demuestra que para las características del agua residual de la empresa Aceros Boehler del Ecuador S.A no resulta eficiente la aplicación de hipoclorito de sodio a pesar de tener propiedades altamente oxidantes.
- Mediante el porcentaje de reducción de cianuros se concluye que el método más eficiente para la oxidación química de los mismos es el realizado con peróxido de hidrógeno al 30% con adición del catalizador sulfato de cobre pentahidratado, con la dosificación 1; en un tiempo de reacción de 60 min, a una temperatura de 24°C y 700 rpm de agitación, ya que disminuyó de 32.250 mg/l de CN- presentes en el agua residual a 5.600 mg/l en el agua tratada, y dado a que la empresa no descargará el agua al alcantarillado se estima que es un valor adecuado para la recirculación al proceso de lavado, siendo este el método recomendado para el tratamiento de

aguas residuales de la empresa Aceros Boehler del Ecuador S.A.

- Se concluye que la variable de tiempo de reacción influye para que exista mayor eficiencia en la reducción de cianuros, siendo que a mayor tiempo existe mayor oxidación de cianuros, así como también es importante controlar la agitación de la muestra ya que permite un tratamiento homogéneo. Con respecto al pH del agua residual el mismo osciló entre 11 y 12, indicando la basicidad del agua y siendo un factor que atenuó el control con respecto a la formación de gas cianhídrico con un pH inferior a 11.5.
- De las tres dosificaciones aplicadas con los tres agentes oxidantes al agua residual se concluye que en valores mayores a 6g del agente que oxida 1 g de CN- la oxidación química no resulta eficiente, ya que no existe una degradación de cianuros tal como la obtenida con 4g.
- Los parámetros medidos de conductividad y oxígeno disuelto en los tres experimentos ayudaron a evaluar el nivel de contaminación del agua posterior a los tratamientos aplicados con respecto a los parámetros medidos en el agua residual.
- Del proceso de clarificación del agua tratada se obtuvo que con el uso del coagulante Sulfato de Aluminio al 1% se clarifica el agua pero no mostró una lucidez como con el uso de Policloruro de Aluminio al 1%, así como también con este último se obtuvo sólidos sedimentados más compactos, siendo las

concentraciones óptimas de 200 ppm de PAC y 2 ppm de Polímero aniónico para la clarificación del agua, ya que se obtuvo un 97.19% de reducción de turbidez y un 92% de reducción del color con respecto al agua sin clarificar.

- De la evaluación del costo para el tratamiento del agua residual de la empresa Aceros Boehler del Ecuador S.A., lo cual incluye: oxidación química para degradación de cianuros, clarificación del agua y planta de tratamiento del agua residual es de aproximadamente 720.59\$ + IVA, sin considerar la mano de obra para la construcción de la planta. Posterior a la instalación de la misma, el tratamiento estará evaluado de 90 a 100 dólares mensuales + IVA, esto dependerá del grado de contaminación por cianuros presentes en el agua residual en función de la producción mensual, influyendo esto a la dosificación de los químicos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Díaz, F. (2007). *Lecturas de Ingeniería I Endurecimiento Superficial del Acero*. Perú.
- Gaviria, A. C. (2006). *Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, Municipio de Marmato, Caldas*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- Gómez, P. (2012). *Degradación de Cianuros mediante Oxidación Química*

en Efluentes Industriales. España:
Universidad de Oviedo.

- Román, C. (2011). *Reducción de la concentración de cianuro con tratamiento de peróxido de hidrógeno en las aguas residuales de la industria del Galvanizado*. Cuenca: Universidad Politécnica Salsiana Sede Cuenca.
- ✓ Ortega, D. (2015). *Estudio de la Degradación del Cianuro utilizando Peróxido de Hidrógeno en los efluentes del proceso de Cianuración de la Empresa Menesadco S.A. ubicada en el sitio el Pache, Cantón Potovelo, Provinci de El Oro, 2014*. Machala: Universidad Técnica de Machala.
- ✓ Pulla, E. P. (2007). *Calidad de Agua Trabajo de Investigación Oxígeno Disuelto*. Guayaquil-Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- ✓ Rodríguez, A. (2006). *Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales*. Madrid: Universidad Rey Juan Carlos.
- ✓ Arevalo, C. (2011). *Control de Efluentes Cianurados mediante la Oxidación con Peróxido de Hidrógeno en un laboratorio de análisis de minerales*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- ✓ *Química en Efluentes Industriales*. España: Universidad de Oviedo.
- ✓ Goyonola, G. (2007). *Red de Monitoreo Ambiental Participativo*

de Sistemas Acuáticos. Madrid-España.

- ✓ Goyonela, G. (20 de 07 de 2015). *Transparencia, color y turbidez*. RED MAPSA. Madrid-España..
- ✓ *Guía Ambiental para el Manejo del Cianuro*. (2005). Lima: Ministerio de Energía y Minas Gobierno del Perú.
- ✓ Kitis, M., & Akcil, A. (2004). *Destruction of cyanide by hydrogen peroxide in tailings slurries from low bearing sulphidic gold ores*. Turkey: Department of Environmental Engineering, Suleyman Demirel University.
- ✓ Knorre, H., & Degussa, A. (1990). *Cyanide Detoxification with Hydrogen Peroxide using the Degussa Process*. Germany.