



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**Ozonificación de los efluentes de la industria galvánica para  
la reducción de concentración de cianuro en el distrito de  
Puente Piedra - Lima.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:**

Bonilla Chavez, Eloy Silverio (ORCID: 0000-0002-7220-012X)

Pérez Lezcano, Ricardo Erich (ORCID: 0000-0001-7087-7500)

**ASESOR (A):**

Dr. Benites Alfaro, Elmer Gonzales (ORCID: 0000-0003-1504-2089)

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y gestión de los recursos naturales

LIMA – PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

El presente trabajo es dedicado a los cinco pilares de mi vida, mis maravillosos padres, mi siempre amoroso hermano, mi perseverante esposa y mi fabuloso hijo, ya que gracias a ellos he vuelto a retomar este proyecto que por tanto tiempo deje inconcluso, gracias por el tiempo, por las palabras de aliento y por estar siempre en los momentos más duros de vida.

Ricardo Erich Pérez Lescano

Le dedico este trabajo a la mujer de mi vida, mi madre.

Bonilla Chavez, Eloy Silverio

### **Agradecimiento**

A mi ex compañero de trabajo el cual siempre supo que podría desarrollar esta investigación y que con su instrucción en lo técnico pude tener una idea de lo que siempre quise realizar, así también al Dr. Elmer Benites que con su experiencia y consejos pudieron ayudarme a cerrar esta etapa profesional.

Ricardo Erich Pérez Lescano

Agradezco a mi madre por apoyarme, mi hijo por motivarme y mi amigo Ricardo, por ayudarme.

Bonilla chavez, Eloy Silverio

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	37
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	37
3.2. Variables y operacionalización .....	38
3.2.1. Variable Independiente .....	38
3.2.2. Variable Dependiente .....	38
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis .....	38
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.5. Procedimientos .....	41
3.6. Método de análisis de datos.....	51
3.7. Aspectos éticos .....	51
IV. RESULTADOS .....	52
VI. DISCUSION.....	57
VII. CONCLUSIONES.....	61
VIII. RECOMENDACIONES .....	63
REFERENCIAS.....	64
ANEXOS .....	72

## Índice de tablas

Tabla 1. propiedades físico-químicas del ozono .....	35
Tabla 2. Resultado de efluente de la empresa galvánica .....	52
Tabla 3. Matriz de combinaciones.....	52
Tabla 4. Resultado final de reducción de cianuro total – primera corrida .....	54
Tabla 5. Resultado final de reducción de cianuro total – segunda corrida .....	54

## Índice de gráficos y figuras

Figura 1. almacenamiento de muestra .....	41
Figura 2. ubicación de prueba piloto,.....	42
Figura 3. Generador de ozono .....	43
Figura 4. Columna de acrílico.....	43
Figura 5. Bomba sumergible .....	43
Figura 6. Ducha 8" .....	43
Figura 7. tuberías y válvulas.....	43
Figura 8. Reductor de 1/2" a 1/8" .....	43
Figura 9. manguera de PVC.....	44
Figura 10. Teflón .....	44
Figura 11. Herramientas Varias.....	44
Figura 12. Juego de llaves .....	44
Figura 13. colocación del reductor .....	45
Figura 14. unión manguera y generador o3 .....	45
Figura 15. colocación de bomba.....	45
Figura 16. modulo instalado .....	46
Figura 17. modulo instalado con material de retención .....	46
Figura 18. rotulado de muestras.....	46
Figura 19. Modulo con chapas enteras .....	47
Figura 20. Modulo con chapas molidas .....	47
Figura 21. recolección de la combinación 1 (10 min y chapas enteras). .....	48
Figura 22. toma de muestra del tratamiento en 20 min .....	49
Figura 23. toma de muestra del tratamiento para el tiempo 3 (30').....	49
Gráfico 1. Regresión lineal del tiempo con la reducción de cianuro .....	53
Gráfico 2. Regresión lineal del tiempo con la reducción de cianuro .....	53
Gráfico 3. Porcentaje de remoción en la primera corrida .....	55
Gráfico 4. Porcentaje de remoción en la segunda corrida.....	55
Gráfico 5. Combinadas de material de retención y concentración de cianuro reducido 1.....	56
Gráfico 6. Combinadas de material de retención y concentración de cianuro reducido 2.....	56

## Resumen

En la industria galvánica, se generan efluentes de alta toxicidad producto de los insumos químicos que se requieren para lograr el producto final, estos son descargados por el proceso de lavado en la etapa desengrase ácido, desengrase alcalino y enjuague que contienen concentraciones importantes de cianuro, que al no ser tratadas impactan negativamente al ambiente. En el presente trabajo de titulación se ha tomado como objetivo determinar si la ozonificación influye en la reducción de cianuro en los efluentes de la industria galvánica, por lo que se determinó la concentración de cianuro reducido usando un sistema a contracorriente y determinando su eficiencia con dos reductores cinéticos, tapas de plástico enteras y trituradas.

En este estudio se realizaron experimentos a nivel piloto para lo que se instaló un módulo contracorriente constituido por: un reactor, generador de ozono, tanque colector, una bomba sumergible y reductor cinético. La muestra empleada para recircular en el sistema fue de 9 litros y se sometió a un flujo constante de ozono de 16.6mg/min a su vez se incorporó dos reductores cinéticos: chapas trituradas y enteras. Para determinar la reducción de cianuro y la eficiencia se realizaron corridas en 3 intervalos de tiempo; 10 min, 20 min y 30 min.

El estudio demostró que las condiciones óptimas de reducción de cianuro se dan a un tiempo de tratamiento de 30 min, pH promedio de 12, siendo las chapas enteras el más eficiente, logrando una reducción de 224,23 mg/l de cianuro al final del tratamiento de una concentración inicial 318.5 mg/l.

Finalmente se recomienda trabajar con tiempos de reducción mayores a 30 min. Asimismo, trabajar con una muestra mayor o igual a 9 litros aplicada estrictamente a las condiciones en las que se realizó el experimento.

### PALABRAS CLAVE:

Industria galvánica, cianuro, ozonificación, sistema contracorriente, reductor cinético.

## **Abstract**

In the galvanic industry, highly toxic effluents are generated as a result of the chemical inputs that are required to achieve the final product, these are discharged by the washing process in the acid degreasing, alkaline degreasing and rinsing stage that contain significant concentrations of cyanide, that by not being treated negatively impact the environment. The objective of this titration work has been to determine if ozonation influences the reduction of cyanide in the effluents of the galvanic industry, for which the concentration of reduced cyanide was determined using a countercurrent system and determining its efficiency with two kinetic reducers, whole and shredded plastic caps.

In this study, pilot-level experiments were carried out for which a countercurrent module was installed consisting of: a reactor, ozone generator, collecting tank, a submersible pump and a kinetic reducer. The sample used to recirculate in the system was 9 liters and was subjected to a constant ozone flow of 16.6mg / min, in turn, two kinetic reducers were incorporated: shredded and whole plates. To determine the cyanide reduction and the efficiency, runs were carried out in 3 time intervals; 10 min, 20 min and 30 min.

The study showed that the optimal cyanide reduction conditions are given at a treatment time of 30 min, average pH of 12, with whole plates being the most efficient, achieving a reduction of 224.23 mg / l of cyanide at the end of the treatment of an initial concentration of 318.5 mg / l.

Finally, it is recommended to work with reduction times greater than 30 min. Likewise, working with a sample greater than or equal to 9 liters strictly applied to the conditions in which the experiment was carried out.

### **KEYWORDS:**

Galvanic industry, cyanide, ozonation, countercurrent system, kinetic reducer.



## I. INTRODUCCIÓN

El efecto que genera la actividad antrópica en un determinado ecosistema suele llegar a producir un impacto significativo ligado a la contaminación, esta altera el equilibrio y en algunas oportunidades causa la pérdida de flora y fauna o el crecimiento desmedido de las mismas hasta llegar a destruir definitivamente la vida. ([Chávez et al. 2009](#)). Según. ([THE WORLD BANK. 2020](#)) “El 80% de las efluentes en el mundo no tienen son tratados adecuado antes de ser vertidas al ambiente” y “Aproximadamente 60% de la población en Latino América y el caribe cuenta con acceso al sistema de alcantarillado, no obstante entre 60 y 70% de estos son vertidos sin tratamiento alguno” ([Rodríguez, et al. 2020](#)) Según Yee- Batista (2013) 70% de las aguas residuales no son tratadas en América Latina, situación que agrava el problema pues indica que obtenemos el agua, la contaminamos y la retornamos completamente alterada. ([Larios, González y Morales, 2015](#)).

La mayoría de países desarrollados se ha concientizado y afronta este reto viéndose obligados a frenar el fin de nuestro hábitat. En este contexto muchas industrias están condicionadas a reducir o evitar impactos negativos al ambiente, ya sea tratando los las aguas contaminadas antes de ser vertidos al medio ambiente o mediante la implementación de mecanismos de prevención de la contaminación ([Chávez et al. 2009](#)). “En el Perú el 70% de las aguas residuales no tienen tratamiento alguno” (Larios, González y Morales, 2015). Y Según el (SINIA, 2018) la proporción de aguas tratadas por las EPS en el Perú alcanzan el 79.2%. Según ([Saupe et al. 2005](#)). La descontaminación de agua con compuestos químicos que impulsen el desarrollo tecnológico y vaya en función a un costo beneficio, es hoy una necesidad real y tangible

“En la industria galvánica los efluentes resultantes de los procesos son básicamente inorgánicos, estas, por su toxicidad son altamente peligroso para el ser humano y el ecosistema pues gran parte de estos efluentes contienen metales pesados como el níquel” ([Chávez et al. 2009](#)). “Actualmente existen una serie de tratamientos de aguas residuales que usan técnicas de cianuración: oxidación con peróxido de hidrogeno, cloración alcalina, degradación natural, oxidación con mezclas SO<sub>2</sub>/aire, etc. Estas técnicas

pueden eliminar el cianuro, sin embargo con regularidad se lidian con problemas como: costo del proceso exorbitantes a causa del alto costo de los reactivos, generación de subproductos nocivos para el ecosistema o tratamientos que demoran mucho tiempo” (Nava et al., 2013).

La viabilidad técnica de usar el ozono para de oxidar el cianuro en soluciones sintéticas se ha comprobado por (Selm, 1959; Zeevalkink et al., Khandelwal et al., 1959; Gurol et al., 1984) desde 1959. En aguas residuales de la industria fotográfica el ozono se empleó con éxito (Garrison et al., 1973) y (Bollyky, 1973; Streebin et al., 1980). Lo uso en industria de recubrimientos electrolíticos Existen también dos estudios enfocados al efluente del proceso de cianuración donde, (Mathieu, 1977; Rowley y Otto, 1980) no concluyen de forma definitiva, pero muestra resultados prometedores debido a falta de datos, básicamente acerca del pH y las impurezas en la oxidación de cianuro. Estos autores sin embargo coinciden en afirmar que el ozono presentaría ventajas en comparación los métodos existentes en la actualidad, principalmente una alta velocidad de oxidación, y la formación de subproductos tóxicos (Nava et al., 2013b).

En esta investigación se presentan resultados obtenidos en un sistema piloto de inyección de ozono en aguas residuales con cianuro proveniente de una industria galvánica, la experimentación pretende responder al problema general que fue ¿Cómo la ozonificación influye en la reducción de cianuro en los efluentes de la industria galvánica? también responde 4 problemas específicos para identificar la influencia de los reductores cinéticos enunciados de la siguiente manera: ¿Cuál es la concentración de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas enteras como reductor cinético?, ¿Cuál es la concentración de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas molidas como reductor cinético?, ¿Cuál es la eficiencia de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas molidas vs chapas enteras como reductor cinético? Y ¿Cómo las condiciones de tratamiento de ozonificación influyen en la reducción de la concentración de cianuro proveniente de la industria galvánica?

Según Chabalina, 2002, “la materia prima en este tipo de industria es muy poco aprovechados, ejemplo de ello es que, los metales utilizados solo al 30-60%, los ácidos y álcalis entre 20-40 % y el requerimiento de agua de alta calidad es de 0.5 - 1.0m<sup>3</sup> por cada m<sup>2</sup> de superficie tratada”. Como en el proceso productivo los insumos químicos no se aprovechan al 100%, las aguas residuales son vertidas al sistema de drenaje y a los cuerpos de agua, transformando así a la industria galvánica en una actividad industrial nociva para nuestro ecosistema y la humanidad. (Bastante y Gutiérrez 2018).

Por lo antes descrito y en consecuencia con el problema general planteado, se trazó como objetivo general, Determinar si la ozonificación influye en la reducción de cianuro en los efluentes de la industria galvánica, respondiendo a los problemas específicos, también se plantearon 4 objetivos específicos: Determinar la concentración de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas enteras como reductor cinético, Determinar la concentración de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas molidas como reductor cinético, determinar la eficiencia de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas molidas vs chapas enteras como reductor cinético y Analizar las condiciones de tratamiento que influye en la reducción de la concentración de cianuro proveniente de la industria galvánica.

La hipótesis general, planteada fue que La ozonificación permite la reducción de la concentración de cianuro en las aguas residuales de la industria galvánica, para proyectar los posibles hallazgos que plantea cada problema específico se generaron también 4 hipótesis específicas que fueron la ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas enteras como reductor cinético reducen la concentración de cianuro, la ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas trituradas como reductor cinético reducen la concentración de cianuro, la eficiencia de la ozonificación usando el sistema a contracorriente con chapas enteras vs chapas trituradas reduce la concentración de cianuro y las condiciones de tratamiento si influyen en la reducción de la concentración de cianuro.

## II. MARCO TEÓRICO

([BASTANTE et al., 2018](#)), su investigación orientada a la industria galvánica por medio de un mecanismo mixto osmosis inversa y electro ionización para la reducción de la concentración de cianuro, en la escuela profesional de ingeniería química de la Universidad Nacional del Callao, cuyo objetivo fue evaluar los parámetros operacionales de un sistema combinado de osmosis inversa y electro ionización para la remoción de iones cianuro de aguas de lavado de la industria galvánica. La investigación de tipo experimental analizó la influencia de parámetros operacionales del módulo de electro ionización como; tensión aplicada, flujo de la corriente diluida y concentración total de alimentación de cianuro, en tanto la concentración de cianuro total se determinó mediante la metodología de absorción atómica, así mismo el porcentaje de remoción de cianuro se analizó mediante espectroscopia infrarroja. Los resultados mostraron 8 combinaciones de voltajes 10 y 18 V, flujo 300 y 500 L/h y concentración inicial de cianuro de 8, 37 y 23, 45 para distintas concentraciones finales de cianuro total. Por ejemplo, se observó que cuando el flujo de la corriente de permeado es de 500 L/h, presenta menor concentración de cianuro total, que trabajando a 300 L/h. En su investigación concluyeron que los parámetros más adecuados de operación y niveles de módulo de electro ionización es de potencial eléctrico igual a 18 voltios, concentración inicial de cianuro total de 8, 37 ppm y flujo de 500 L/h. El porcentaje de remoción de iones cianuro del agua de lavado es del 99.95% lo que resultaría de utilidad el uso de módulos de sistemas combinados de osmosis inversa y electro ionización para la remoción de este tipo de iones, además de ser un sistema de una tecnología limpia que trabaja a temperatura ambiente y que no utiliza reactivos químicos para el tratamiento del cianuro.

([GARCÍA, 2014](#)). En su desarrollo de tesis mediante la inmersión en caliente de las aguas residuales de una industria galvánica como medida de caracterización y propuesta: en la escuela regional de ingeniería sanitaria y recursos hídricos de la Universidad de San Carlos de Guatemala cuyo objetivo fue caracterizar el agua residual de la industria de galvanizado de lámina, de la planta de lámina

de la Corporación Aceros de Guatemala S.A., para proponer un sistema de tratamiento que contribuya a salvaguardar la salud pública y el ambiente. En la parte metodológica, para determinar la carga contaminante de las aguas residuales, se recolectaron muestras compuestas de los dos puntos de descarga del proceso, desengrase - decapado y sellado de zinc. Seguidamente se analizaron las muestras para determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Como resultado del análisis, se determinó que las aguas residuales provenientes del proceso no cumplen con los parámetros legislados, se encontró que la relación DBO5/ DQO es de 0.26 y 0.35 respectivamente, lo que indica que las aguas residuales contienen una cantidad de compuestos no degradables. Tomando como base la información se propuso un tratamiento desde el punto de vista teórico, que consiste en un proceso de neutralización de ácidos, aireación, sedimentación e intercambio aniónico.

([BRESCHI, 2011](#)). Ejecuto su trabajo para obtener el grado de titulado en el cual generó propuestas de mejora en el tratamiento de efluentes de la industria de galvanoplastia en la escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo cuyo objetivo fue proponer alternativas de mejora al tratamiento. En la parte metodológica se inició con el diagnóstico del proceso de operación donde se realiza el galvanizado de los cajetines, encontrándose el caudal de los tanques de enjuague como la causa más incidente en el aumento de la concentración de los contaminantes. Mediante un análisis de variación de pH existente en las aguas de enjuague se determinó que se debe modificar el mismo, en lo que corresponde al tanque 3 se aumentó 88,6%, el tanque 5 se incrementó un 66,7% y el tanque 10 se incrementó un 81%. Con todos estos cambios se consiguió mantener el pH de las aguas de enjuague en valores constantes y por ende se disminuyó el arrastre hacia los tanques siguientes y la concentración de los electrolitos a tratar. Se caracterizaron los efluentes encontrándose altamente concentrados en sólidos totales con 2860 ppm, cromo total 36,4 ppm, zinc 67,9 ppm, cianuro total 16,8 ppm y sulfato 781 ppm con valores por encima de lo establecido en el decreto. Se planteó diferentes tecnologías para adecuar a la norma la concentración de los contaminantes.

(SERQUÉN, 2020). Ejecutó su tesis para obtener el grado de título mediante la degradación de cianuro por medio de la influencia de ozono y cobre en los efluentes mineros, en la escuela profesional de ingeniería química de la Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo" cuyo objetivo general fue determinar la influencia del ozono y el cobre en la eliminación del cianuro de los efluentes mineros para contribuir a la sostenibilidad ambiental. La investigación de tipo experimental con diseño de contrastación de tipo factorial 3x3 con 3 repeticiones, que tuvieron como muestra 1.9 litros de aguas residuales del proceso de lixiviación de la unidad minera de cerro lindo en Chíncha, Ica, el efluente fue caracterizado con la metodología de ASTM. Se fabricó un reactor tubular de 2.1 litros de capacidad, con capacidad para inyectar ozono a concentraciones de 1,5; 2,0 y 2,5 g; al cual se agregó 1,9 litros de agua residuales y como catalizador  $\text{Cu}^{+2}$  ( $\text{SO}_4 \text{Cu} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) a, 0; 200 y 400 mg/l realizando tres repeticiones logrando en total de 27 ensayos, estableciendo la cuantificación del CN<sup>-</sup> usando el fotómetro Hanna C200 mediante la metodología ASTM D2036-91. Los resultados indicaron que la eficiencia de degradación del CN<sup>-</sup> posterior a ser tratado con  $\text{O}_3$  y  $\text{Cu}^{+2}$  logra un 83,26 a 99,92% de eficiencia, valores próximos al logrado por Parga, Shukla & Carrillo (2003) 99.65%, Carrillo (2000) que reporta 99,22%; y Gaviria y Meza, (2006) 96,90%. En su investigación concluyeron que la adición de  $\text{Cu}^{+2}$  y ozono como catalizador al agua residual logra eliminar al (CN). con un desempeño de 83,26–99,93 % El agua residual de la unidad minera tenía una concentración de CN<sup>-</sup> total de (235,44 mg/L), pH (10,30), Hierro (15 mg/L) y  $\text{Cu}^{+2}$  (25 mg/L), con 2,5 g de  $\text{O}_3$  y 400 mg/l  $\text{Cu}^{+}$  reduce a 0,17 mg/L la concentración de cianuro (CN<sup>-</sup>), menor al límite máximo permisible.

(ISMAIL et al. , 2008), realizaron la investigación para obtener el grado de titulado, mediante la conversión de cianuro de sodio en un compuesto insoluble de una solución de fuente galvanizada en el departamento de Ingeniería Química de la Universidad de El Cairo el Egipto, cuyo objetivo fue determinar las condiciones óptimas para el tratamiento de las aguas residuales que contienen cianuro mediante el método de adición de  $\text{FeSO}_4$ . En el estudio una solución sintética que se asemeja al agua residual contaminada fue tratada

químicamente con sulfato ferroso. Los experimentos se llevaron a cabo sobre una solución sintética que contiene iones de cianuro y zinc. Se estudiaron los efectos de la velocidad de mezcla, relación de iones ferrosos a iones cianuro, concentración de iones ferrosos, concentración inicial de cianuro, pH de la solución, temperatura, tiempo de mezcla y concentración de iones zinc. Los resultados mostraron que la eficiencia de remoción de cianuro aumento a medida que aumentaba la velocidad de mezcla, la relación molar de iones ferrosos a iones de cianuro aumentaba, la temperatura aumentaba a un pH óptimo de 8. La reducción de la concentración de cianuro alcanzo el límite permitido para la descarga de aguas residuales según decreto 44/2000 de la Ley de Medio Ambiente de Egipto, que es de 0,2 mg/l. El tratamiento se aplicó a una muestra de residuos reales de la planta de galvanización y se comprobó que después del tratamiento se puede descargar directamente al sistema de alcantarillado de acuerdo al Decreto Legislativo 44/2000 de Egipto.

(CORREA & NEYRA MEDINA, 2019), realizaron la reducción de cianuro libre a través de ozono para demostrar la cinética de oxidación en la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y prevención de riesgos de la Universidad de Cajamarca, cuyo objetivo fue determinar los parámetros cinéticos para la oxidación del cianuro libre en el agua por aplicación del ozono. La metodología de la investigación de tipo experimental realizó la toma de muestra de dos litros para cada concentración de cianuro de sodio (50, 100 y 200 ppm), cada concentración con tres repeticiones, las muestras se trabajaron a distintos pH de 6, 8 y 10 donde se inyectó ozono a una cantidad de 200 mg/h y con tiempos de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 min. Para la cuantificación del cianuro libre inicial y final se usó el método Titrimétrico 4500-CN. En los resultados demostró la variación de la cantidad de cianuro libre a diferentes niveles de pH, siendo el de 6 y 10, los que remueven con mayor proporción al cianuro, en tanto las concentraciones de cianuro son de 57.15 y 57.23, lo que demuestra que el pH es determinante en el proceso de ozonización.

(MACHACCA MACHACA & YANA HANCCO, 2017), realizaron la investigación de reducción de cianuro de aguas residuales en la industria metalúrgica

mediante la oxidación avanzada y fotocátalisis solar, en la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano. Cuyo propósito fue hallar la remoción de cianuro de efluentes mineros mediante fotocátalisis solar y oxidación avanzada heterogénea. Así mismo la investigación de tipo experimental utilizó las muestras de aguas residuales del centro Minero corporación minera Ananea SA provenientes del proceso de lixiviación por cianuración, método usado para la extracción de oro. Se experimento con tres métodos que utiliza la radiación solar para el tratamiento; fotocátalisis de energía solar -UV- con oxidante sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), con oxidante peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y con elementos oxidantes heterogéneos mediante proceso de fotocátalisis radiación ultravioleta (UV) solar peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), en los tres tratamientos se utilizó 0,5g/L de dióxido de titanio como un catalizador. Se logró una eficiencia de 85.28% usando peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) – sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), reduciendo de 1806.60 mg/L hasta 266.0 mg/L como Resultado de la experimentación en 120 minutos, en la segunda prueba se logró una eficiencia de 29.95% logrando reducir de 1806.6 mg/L hasta 1265.45 mg/L usando sulfato ferroso como agente oxidante, en un tiempo total 120 minutos y finalmente en la tercera prueba logró reducir el equivalente en porcentaje a 6.15% decreciendo la concentración de 1806.60 mg/L a 1695.55 en un tiempo total de 120min utilizando como agente oxidante el peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), todos los experimentos se trabajaron en condiciones de pH inicial de 12.0 y final de 10.85. Se concluyó que el tratamiento de fotocátalisis de energía solar- UV- más optimo con un porcentaje de 85.28% se da con el peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) de 20 mM sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) de 50 ppm, en presencia de Dióxido de Titanio de 0.5 g/L en un tiempo de 120 min.

(VARGAS OSPINA, 2016), realizó su tesis para poder optar por el grado de doctor al identificar cual es el mejor método de tratamiento para las aguas cianuradas que genera la actividad industrial a mediante tres procesos de depuración distintos en el Sistema de Formación Avanzada de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia. Cuyo objetivo fue realizar la detoxificación de cianuro hasta llegar a cumplir lo que dicta la resolución 0631



del año 2015 de Colombia, en la cual se regula las descargas de efluentes industriales a cuerpos superficiales de agua cuantificando los valores máximos permisibles, así como los valores para descargas al alcantarillado público. Realizó su trabajo experimental generando un diseño de pruebas en laboratorio y así llegar a la detoxificación y recuperación del cianuro, teniendo como relación la proporción del agente, la cinética de la reacción química y cuantificando la eficiencia para cada prueba realizada según la concentración establecida de cianuro reducido. Generado los resultados la hipótesis alternativa es aceptada y evaluando las gráficas del comportamiento del cianuro en para cada prueba se puede identificar que la mejor detoxificación es la que se genera mediante peróxido de hidrógeno y como catalizador el sulfato de cobre en comparación de lo realizado con el peróxido de hidrógeno o con el ácido de caro. Una de las variables importantes que se establecieron en el experimento fue la de relación de tratamiento que da el pH en donde se pueda llegar a concluir que el rango en donde se tiene que realizar detoxificación debería de estar comprendido entre 9.5 y 11 unidades de potencial de hidrógeno.

(BELTRAN DE HEREDIA, TORREGROSA, GARCÍA Y DOMÍNGUEZ, 2000), realizaron la investigación de las aguas industriales por medio de ozono en almazara en el Departamento de Ingeniería Química y energética de la Universidad de Extremadura, España. Cuyo objetivo determinar el consumo de ozono en la degradación de polifenoles totales, DQO y aromaticidad de las aguas residuales en reacción con ozono en almazara. Los experimentos de ozonización se realizaron en un módulo que tiene una columna cilíndrica de 11 cm de diámetro y 12 cm de altura y funciona en régimen continuo respecto al líquido y respecto al gas. El ozono se genera en un ozonizador (Sander, modelo 301.7) que se alimenta con oxígeno comercial procedente de una botella a presión. A intervalos de tiempos se recogían muestras que eran sometidas a centrifugación para separar las partículas sólidas del líquido y en este último, se determinaban la DQO, aromaticidad y polifenoles totales. La ozonización de alpechín alcanza reducciones muy bajas de la demanda química de oxígeno. Sin embargo, es un procedimiento eficaz para la reducción del contenido de

compuestos poli fenólicos, con vistas a una posterior depuración por vía biológica.

El consumo de ozono respecto de la DQO, polifenoles totales y aromaticidad resulta ser de 57.2 g DQO/mol O<sub>3</sub>, 3.3 g polif/mol O<sub>3</sub> y 2.9 un. abs/mol O<sub>3</sub>. La cinética de la reacción es de segundo orden global (primer orden en relación de cada reaccionante), con unas constantes cinéticas cuyos valores son 15.34 l/g DQO. h, 1.72 l/g polif. h y 7.22 h<sup>-1</sup>.

(AQUILLA Y DAMIAN, 2019), realizaron la investigación de la reducción de cianuro por medio de peróxido de hidrógeno en una empresa metalúrgica en la Universidad de Cuenca, Ecuador. Cuyo propósito fue reducir la concentración de cianuro de agua residual para alinearse con la normativa de calidad ambiental TULSMA 2015. En este trabajo se ensayó a nivel de laboratorio una metodología de oxidación de cianuro libre con peróxido de hidrógeno al 50% sobre una muestra de efluente cianurado con un valor inicial de 97 mg/l en cianuro total y 38,52 mg/l de cianuro libre originarias de una empresa metalúrgica. Se sugiere un diseño experimental con tres factores: dosificación de oxidante, agitación y tiempo de retención. Verificando los niveles de cada factor de ensayo en base a los siguientes rangos: agitación (150; 200 rpm), relación oxidante/cianuro (2:1; 5:1) y tiempo de retención (2; 4 horas). Los ensayos fueron ejecutados por triplicado, y se desarrollaron 8 pruebas. Los resultados demostraron que la relación oxidante/cianuro 5:1, tiempo de retención 240 minutos y 200 rpm son las condiciones óptimas de degradación de cianuro libre y cianuro total, y utilizando la ecuación de regresión del modelo y considerando la mejor condición del experimento número 8, se obtiene para el nuevo tratamiento que, con tiempo de retención de 240 minutos, relación oxidante/cianuro de 6:1 y 175 rpm, estas serían las mejores condiciones para degradar el cianuro. Finalmente, la investigación concluye del análisis de varianza que para la degradación de cianuro del agua residual en estudio la variable más influyente es la relación peróxido de hidrógeno/cianuro, se evidencia pues que, a si aumentamos la dosis de peróxido el nivel de cianuro total se reduce considerablemente y también se requiere un tiempo de 4 horas

para llegar a un rendimiento óptimo, siendo así el tiempo un factor determinante en la disminución de cianuro.

([VARGAS & CUESTA, 2009](#)), realizaron la investigación relacionando el  $\text{TiO}_2$  como catalizador en la oxidación de cianuro a través de luz ultravioleta en la Universidad Manuela Beltrán Avenida Circunvalar, Bogotá – Colombia, cuyo objetivo fue en poder identificar la eficiencia de las variables de operacionales para el tratamiento de cianuro por medio de una muestra simulada por medio de luz ultravioleta y dióxido de titanio  $\text{TiO}_2$  como mecanismo de catalizador. Para llegar a realizar el tratamiento se generó un reactor foto catalítico de acero inoxidable bajo un diseño experimental de 33 tomando cómo variables el tiempo de reacción y la velocidad con que este actúa. Se pudo evidenciar que existe una relación directamente proporcional entre el tiempo de tratamiento generando, la concentración inicial y la mayor concentración del catalizador, generando una cinética de oxidación de primer orden igual que otros tesisistas.

([SILVESTRE, 2015](#)), realizó su tesis doctoral en los efluentes industriales metalúrgicos a través de la detoxificación en el departamento de ingeniería textil y papelera de la Universidad Politécnica de Valencia, España. Cuyo objetivo fue eliminar el cianuro libre y complejo originarias de la industria de recubrimientos metálicos proponiendo un tratamiento para los efluentes con procesos de fotocátalisis solar y detoxificar totalmente de manera que compatibilice con su vertido a una EDAR. La investigación de tipo experimental y aplicada desarrollo en la metodología, ensayos a escala de laboratorio con aguas de prueba que contenían 100 mg/L de cianuro libre: tratamientos con peróxido de hidrógeno, persulfato como oxidantes, fotocátalisis solar con  $\text{TiO}_2$ , y procesos tipo foto-Fenton con manganeso, zinc, plata, hierro, cobalto, cobre y cromo en aguas con cianuro y metales como el cobre que les da toxicidades elevadas y hace muy necesario su tratamiento antes de ser vertido. Los resultados mostraron que la adición de peróxido de hidrógeno es eficaz al actuar con los metales existentes en las aguas y se implementó el proceso a escala de la planta de 50 litros. En la experimentación se midieron la variación en la concentración del cobre, la evolución del TC, la degradación del cianuro libre y total, el pH, toxicidad y

conductividad. El mejor análisis en los tratamientos aplicados se obtiene por el proceso tipo foto-Fenton con cobre (metal ya presente en las aguas). Esta investigación concluyo que la adición de peróxido de hidrógeno, aprovechando la presencia del cobre es el tratamiento más eficaz para la depuración de cianuro y la detoxificación de aguas reales cianuradas originadas de la industria de recubrimientos metálicos.

El artículo científico de [NAVA, ELORZA, URIBE y BARRIGA, \(2013\)](#), tiene como objeto disminuir el cianuro por medio de ozono con práctica del CINVESTAV, cuyo objetivo fue estudiar la oxidación del cianuro con ozono. La investigación conduce a mostrar la reacción estequiométrica, así como la temperatura, el pH y la presencia de cobre sobre la cinética de la reacción como resultados de la oxidación. El reactor que estuvo constituido de una columna de acrílico, provista de un burbujeador, puertos o sensores de muestreo (potencial redox, pH, ozono disuelto) y el ozono se produjo por medio de un generador marca Pacific Ozone, en la parte superior de la columna se instaló un destructor de ozono para que no descargue directamente a la atmosfera. Se tomaron muestras de solución a intervalos de tiempos determinados. El trabajo concluyo que el pH de la solución debe ser alcalino (>9,3) para que la oxidación del cianuro con el ozono sea completa. El ozono no se oxidará en su totalidad o tomará tiempos demasiados largos si el pH está por debajo de lo indicado, provocando que el cianuro se hidrolice y cambie a ácido cianhídrico. La velocidad de oxidación no se ve afectador por la temperatura en el rango de 15 a 40°C. En cantidades mayores a 80 mg/l de cobre disminuye los tiempos de tratamiento y el consumo de ozono.

El artículo científico de [SANCHEZ, CARRILLO, FRAGA y SORIA, \(2015\)](#), en donde se utilizó el carbón activado como catalizador después de la ozonificación y cuyo objetivo fue remover cianuro de soluciones acuosas utilizando el efecto sinérgico del carbón activado y un agente oxidante (ozono). La investigación de tipo experimental utilizo carbón activado de cascara de coco de carácter básico, los experimentos se realizaron en un reactor semicontinuo, a 25 °C, pH inicial de 11.5, y utilizando soluciones de cianuro con una concentración inicial de

hasta 1200 mg/. Las óptimas condiciones encontradas en el estudio en donde el cianuro se descompone completamente en aproximadamente 3 horas, usando 1g de CAC (Carbón activado de coco) y aproximadamente 2 mg O<sub>3</sub>/min. El estudio concluyó que el proceso de oxidación avanzado, que combina los efectos de carbón activado y el ozono, es una alternativa muy adecuada para la remoción de cianuro en soluciones acuosas. Además, sugirió que los agentes oxidantes, preferiblemente ozono, modificaron el carácter básico de la superficie del CAC para generar sitios ácidos en la superficie que mejoran la adsorción del cianuro; además contribuyen a la generación catalítica de especies oxidantes altamente reactivas en solución, que son responsables de la oxidación del cianuro a cianato.

([CELSO, 2020](#)) realizó su investigación en la degradación del cianuro por medio de la ozonificación y cuál es el efecto del pH y los iones de cobre en el tratamiento en Lambayeque, Perú, 2020. Cuyo objetivo consistió en la determinación del efecto con que cuenta el pH y la evolución de iones de cobre el tratamiento de cianuro mediante ozono por medio de PAOS “Procesos avanzados de oxidación”. La investigación de tipo experimental y aplicada desarrollo en la metodología ensayos de tres niveles de pH 9,0, 10,5 y 12,0 y tres niveles de concentración de iones de cobre, 0, 160 y 320 ppm. Se utilizó un diseño factorial, lo que resultó en 9 combinaciones de pH- concentración de Cu<sup>2+</sup>, y un total de 27 ensayos. Cada lote duró 20 minutos y se empleó 5 mg de ozono por cada mg de cianuro, por lo que se emplearon, soluciones simuladas de 500 ppm de cianuro total; los contenidos de cianuro después de cada ensayo permitieron calcular, la eficiencia de remoción de cianuro. Los resultados se logró eficiencias de remoción mayores de 99%, pero solo con las combinaciones de pH 10,5 se obtuvo valores de cianuro debajo del límite permisible para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, según DS N° 004- 2017-MINAM. En conclusión, la mejor combinación fue pH 10,5 y 160 ppm de iones Cu<sup>2+</sup>, con el cual se logró una remoción de 99,99% y un nivel de cianuro residual de 0,02 ppm

El artículo científico de [DÍAZ Y OBLITAS, \(2020\)](#), en el cual se usaron el pH y el ozono como mecanismos de oxidación para medir la depuración de cianuro wad en efluentes mineros y cuyo objetivo es establecer las condiciones ideales de operación para generar la reacción del ozono en un reactor de columna de burbujas de flujo en estado estacionario a diferentes valores de pH y buscando comprobar que puede tratar eficazmente el cianuro WAD presente en efluentes mineros. La investigación conduce a graves de la oxidación en un reactor se midió el cianuro WAD (weak acid dissociable) como indicador para determinar el efecto del pH y tiempo de ozonificación en un proceso de oxidación de efluentes mineros cianurados. Se tomaron muestras de una prueba factorial del tipo 3x5 con 3 pH diferentes (10, 11 y 12) y 5 tiempos diferentes de proceso (5, 10, 15, 20 y 25 minutos). El volumen empleado de muestra fue de un litro y la concentración de ozono correspondió a 12 gramos por hora a un flujo de 55 litros por minuto. El trabajo concluyó el ozono generado para la oxidación de cianuro en el tratamiento de efluentes mineros de cianuración en medios alcalinos fuertes y a través de burbujeo es estable en el proceso, siendo tanto el tiempo como pH significativos en la reducción de cianuro WAD, esto nos muestra que la eficacia de la oxidación del cianuro depende esencialmente de la dosis de ozono (mol de ozono alimentado por mol de cianuro). Cuanto mayor es la dosis específica de ozono, mayor es la eficiencia de oxidación y que se ve influenciada por pH alcalinos.

El artículo científico de [IBRAHIM,NABIL,SEIF-EDDEEN,WALEED, \(2008\)](#), en donde se realizó la conversión de cianuro de sodio de una solución sintética de un efluente de la industria galvánica a un complejo insoluble seguro, cuyo objetivo degradar el cianuro de los efluentes residuales de acabado de metales. La investigación de tipo experimental en el que se trató químicamente una solución sintética parecida a las aguas residuales contaminadas utilizando sulfato ferroso y donde se tomaron muestras a partir contenía iones de cianuro y zinc. Los efectos de la velocidad de mezclado, la relación entre los iones ferrosos y los iones de cianuro, la concentración de iones ferrosos, la concentración inicial de cianuro, la temperatura, el pH de la solución, el tiempo de mezclado, y la concentración de iones de zinc. El trabajo concluyó con éxito

un por la adición de  $\text{FeSO}_4$  para tratar las aguas residuales que contienen cianuro. Las condiciones óptimas para la depuración del cianuro mediante el uso de  $\text{FeSO}_4$  en presencia de iones de zinc y la formación de hexacianoferrato de zinc y sodio se encontraron a un pH de 8, una relación molar  $\text{Fe}^{2+}/\text{CN}^-$  de 1 y una velocidad de mezclado de 1600 rpm. El tiempo óptimo de mezcla está relacionado con la concentración inicial. A medida que la concentración inicial de cianuro aumenta, el tiempo de mezclado necesario para bajar la concentración de cianuro en la solución a los límites permitidos para la descarga. Se comprobó que si la temperatura aumenta la eficacia de la conversión del cianuro también. Las condiciones óptimas para el tratar las aguas contaminadas con cianuro mediante el método simple de adición de  $\text{FeSO}_4$ , después de ser determinadas, se aplicaron a una muestra real de residuos de la planta de galvanización. Se comprobó que estas aguas residuales reales, tras el sencillo proceso de tratamiento introducido en este estudio, puede ser vertida directamente al sistema de alcantarillado de acuerdo con el decreto ley egipcio 44/2000.

El artículo científico de [CARRILLO, F., F. NAVA, F. y URIBE, A., \(2000\)](#), en el cual se busca la cinética de reacción a través de la oxidación de cianuro por ozono en cianuro presente en relaves, cuyo objetivo es, eliminar el cianuro por ozono en relaves y siendo la investigación de tipo experimental, se centró en dos tipos de experimentos para discriminar entre los efectos de la transferencia de masa y la cinética de la reacción química. Se tomaron muestras con una serie de ensayos en diversas condiciones para determinar el coeficiente de transferencia de masa física,  $K_L a$ , para el aparato experimental utilizado en el presente trabajo. Se realizó una segunda serie de experimentos para estudiar los parámetros químicos y físicos de la oxidación del cianuro. Por último, se realizó una tercera serie de ensayos con efluentes típicos de cianuración industrial para corroborar los resultados obtenidos con las soluciones sintéticas. El trabajo concluyó que la reacción del ozono con el cianuro en soluciones alcalinas es rápida y está controlada por la transferencia de ozono a la fase acuosa. La oxidación del cianuro es de primer orden en referencia al ozono y de orden cero en referencia al cianuro. La constante de velocidad obtenida para

la ozonización del cianuro fue de 0,044 s. Los datos de reacción de ozono y cianuro mostraron la relación de 1:1 en moles para producir un mol de cianato. La oxidación del cianato por el ozono es una reacción lenta comparada con la del cianuro, y, por lo tanto, el cianato se acumula siendo oxidado cuando el cianuro está casi completamente oxidado.

([RODRIGUEZ et al., 2008](#)), realizaron la investigación en efluentes de característica recalcitrante por medio de radiación UV, ozono y peróxido de hidrógeno, en el Departamento de Hidráulica e Saneamiento, Escola de Engenharia de Sao Carlos, Sao Paula, Brasil. Cuyo objetivo fue presentar la revisión bibliográfica acerca de la implementación de procesos oxidativos avanzados: radiación ultravioleta (UV), peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ) y Ozono ( $O_3$ ) para el tratamiento de aguas residuales industriales de naturaleza recalcitrante. Se concluye que el uso de ozono, radiación ultravioleta y peróxido de hidrogeno como procesos oxidativos avanzados para el tratamiento de aguas residuales industriales que incluyen compuestos recalcitrantes representa una gran opción para alcanzar reducciones significativas de color e incrementar el grado de biodegradabilidad. El uso de procesos biológicos en serie sería prometedor para mejorar y/o complementar la eliminación de los compuestos remanentes, además de permitir cumplir con los estándares de calidad de la legislación ambiental.



## Conceptos teóricos

### ***La industria galvánica***

es moderna y técnicamente avanzada, se encarga de proteger toda clase de piezas metálicas de la corrosión mediante sumersión de estas a un recipiente con zinc fundido. La industria usa unas 400.000 t de zinc anuales para proteger 5 millones de toneladas aproximadamente de piezas de acero. La industria por su naturaleza demanda grandes cantidades de agua pues se realiza una serie de baños antes del recubrimiento con zinc (NAVARRO, 2008).

#### Generalidades de los procesos de galvanización

Los distintos procesos pueden clasificarse genéricamente en tratamientos de electrodeposición y tratamiento de deposición química no electrolítica

Aun con la variedad de procesos y la complejidad que esta pueda implicar algunos procesos con regularidad tienen un proceso ya definido como son los componentes electrónicos que en su ciclo de tratamiento consta de tres partes y cada fase consta de subprocesos que determinan la metodología de trabajo y la configuración de la planta

- Acondicionamiento de la superficie
  - o Desengrasado
  - o decapado
  - o neutralización
- Limpieza de la superficie metálica
  - o Electrodeposición (6-12V) corriente (hasta 3000 A),
  - o Limpieza química (las deposiciones químicas más comunes son las que usan cobre y níquel)
- Acabado de superficies
- Fase caracterizada por ser el último proceso en el cual la capa superficial es de 0.5 micras o menores adicionando la propiedad anticorrosiva y generando también las condiciones de soporte para capas orgánicas de acabado pinturas o barnices). (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, pp.15-17).

### ***Efluentes de la industria galvánica***

Los contaminantes típicos de interés se han agrupado en cinco categorías:

- 1) Cromo hexavalente, que se considera individualmente ya que su eliminación generalmente requiere un tratamiento previo específico de reducción a cromo trivalente.
- 2) Metales, que incluyen aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, níquel y zinc;
- 3) Aniones, que incluyen cloruros, fluoruros, boratos, nitritos y nitratos, fosfatos y sulfatos;
- 4) Cianuros, que incluyen cianuro libre, tiocianatos, complejos débiles y fuerte.
- 5) Compuestos orgánicos, que incluyen tensioactivos, aceites, grasas, disolventes y otras sustancias presentes como impurezas. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010pp. 19-26).

### ***Recubrimiento de níquel***

Son los más comunes debido a su dureza de revestimiento y el acabado final. El níquel puede aplicarse directamente sobre una amplia variedad de metales, (latón, acero, aleaciones de zinc, cobre, aluminio, etcétera) no obstante es indispensable aplicar previamente una capa protectora de cobre depositada por una solución de cianuro, de lo contrario pueden ser corroída por soluciones ácidas de níquel. Las formulaciones del tratamiento de niquelado más frecuentes son la solución de Watt, la solución al sulfamato de níquel y cloruro de níquel.

#### **Niquelado electrolítico**

es generalmente el más utilizado. Objetos de níquel, que ya han sido sometidos a un proceso de pretratamiento, ejercen como cátodo en un baño electrolítico baño que también se hunden algunas barras de níquel conectadas al ánodo. Al activar la corriente, los cationes de níquel se desplazan al cátodo, donde se descargan y depositan formando una capa continua de metal.

#### **Niquelado químico**

El tratamiento de niquelado químico aprovecha la acción directa de sustancias reductoras en iones de níquel a depositar. La deposición se puede obtener sobre una variedad de sustratos (metal, vidrio, cerámica o plástico) y es posible obtener un acabado de espesor uniforme independientemente de la geometría

del objeto. El proceso presenta ventajas debido a la excelente adhesión al sustrato, alta resistencia a la corrosión, dureza y resistencia al desgaste. Es de fundamental importancia separar las aguas que contienen iones de níquel de los efluentes que contienen cianuros para evitar la formación de complejos de níquel- cianuro muy estables y, por lo tanto, difícil de tratar. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 33).

### ***El cianuro***

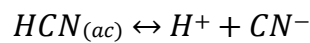
Es un compuesto químico que contienen carbono y nitrógeno. Los compuestos cianurados abarcan sustancias químicas que han sido creadas por el hombre o que se encuentran presentes en la naturaleza. Preexisten más de 2,000 fuentes de cianuro naturales, entre ellos, distintas especies de insectos, hongos, artrópodos, bacterias, algas y plantas superiores. Las primordiales formas de cianuro creadas por la actividad antrópica llegan a ser el cianuro de sólido de potasio el cianuro de hidrógeno gaseoso y el cianuro de sodio. Debido a su pluralidad el cianuro se utiliza en la creación de partes metálicas y otros procesos esenciales y comunes como los fertilizantes, plásticos, herbicidas y otros más. El carbono y el nitrógeno, que forman el cianuro, están presentes como químicos naturales a nuestro alrededor, los dos están presentes en las moléculas orgánicas que son la base de todas las formas de vida y conforman casi del 80% del aire que respiramos. El cianuro de hidrógeno es el antecesor de los aminoácidos y según algunos científicos se formó a inicios del desarrollo de nuestro planeta, a partir de los cuales evolucionó la vida sobre la tierra. La biodiversidad puede utilizarlo como un mecanismo de protección que los puede convertir en una fuente alimenticia poco atractiva para algunos depredadores, pero también es cierto que existen organismos que pueden adaptarse a la presencia del cianuro y vivir con él o llegar al punto de eliminar su toxicidad (LOGSDON et al.,2001).

Universalmente, el cianuro se identifica por su característico olor a almendras amargas, pero no todos los individuos tienen la misma susceptibilidad para poder identificarlo y no siempre este compuesto genera un olor. (Guerrero, 2006).

### Cianuro libre

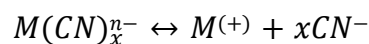
Representa la forma más tóxica del cianuro. Incluye la forma HCN (aq), un ácido débil, que puede separarse según la reacción:

Para valores de pH inferiores a 9,24, el HCN es la forma dominante de cianuro libre en la solución, mientras que a pH más altos prevalece el anión  $CN^-$ . (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 37).



### Complejos

El anión  $CN^-$  es capaz de reaccionar con una amplia variedad de cationes metálicos para formar complejos metal-cianuro. Estas especies, típicamente aniónicas, pueden manifestarse mediante la fórmula  $M(CN)_x^{n-}$ , donde M representa el catión, x es el número de grupos cianuro y n es la carga iónica del complejo. La estabilidad de los complejos metal-cianuro es subjetiva y pueden necesitar condiciones de pH ácido o alcalino para promover la separación del complejo en un catión y cianuro libre:



dependiendo de la fuerza del enlace del ion cianuro y el metal, los complejos metal-cianuro pueden clasificarse en débiles y fuertes. Los complejos con enlaces fuertes son más estables en solución acuosa y se degradan mínima y lentamente. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 37).

### **Fuentes de cianuro**

- a) Naturales. - Es una mezcla química que se origina por la acción de una aglicona y la glucosa las cuales al estar expuestas a enzimas que están presentes en el mismo compuesto se degrada con el paso del tiempo generando el cianuro. Muy a pesar de que los compartimientos celulares puedan estar separados si es que ocurre destrucción o degradación de la estructura del componente se inicia la hidrólisis culminando con el principio de la generación del cianuro.

b) Artificiales. - ya conocida y habiéndose estudiado la química del cianuro y a esto sumado los avances científicos comprendidos en los siglos XIX y XX, el ser humano pudo establecer distintos modos de poder sintetizar el ácido cianhídrico, esto con relación al comprobar su alta eficiencia en la producción de la obtención de metales nobles y otras actividades económicas direccionadas a fibras sintéticas y polímeros.

En el rubro metalúrgico este compuesto es sumamente esencial para la obtención del oro y plata ya que al mezclarse con estos en los conocidos baños cianurados estos son muy estables para extraerlos, pero también hay que saber que el cianuro genera otros compuestos producto de la reacción, entre los cuales podemos tener: cianatos, fulminatos, sulfocianuros y otros que se generan producto de la fabricación de fibras sintéticas (Pérez, 2019).

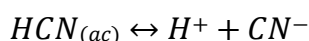
### **Aspectos generales sobre la química del cianuro**

El termino cianuro sirve para hacer referencia a un grupo de compuestos químicos que se identifican por tener un átomo de carbono conectado a un átomo de nitrógeno empleando un enlace covalente triple.



Los distintos compuestos de cianuro pueden clasificarse en:

Cianuro Libre. Es el nombre que se usa para presentar tanto al cianuro de hidrógeno (HCN) que se forma en la solución como a cualquier ión de cianuro (CN)<sup>-</sup> que se diluye en el agua del proceso. (GAVIRIA y MEZA, 2006, p.33)



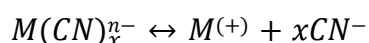
### Compuestos Simples de Cianuro

Los cianuros simples se conceptualizan como (KCN y NaCN, etc.) las sales del ácido cianhídrico, estos se descomponen por completo en solución generando

como resultado cationes alcalinotérreos libres y aniones cianuros. (GAVIRIA y MEZA, 2006, p.33)

### Complejos

El anión  $CN^-$  puede reaccionar con diferentes cationes metálicos para crear complejos metal-cianuro. Estas especies, comúnmente aniónicas, pueden expresarse mediante la fórmula  $M(CN)_x^{n-}$ , donde M representa el catión, x es el número de grupos cianuro y n es la carga iónica del complejo. La estabilidad de los complejos metal-cianuro es variable y pueden ser necesarias condiciones de pH alcalino o ácido para promover la disociación del complejo en un catión y cianuro libre:



Los complejos metal-cianuro pueden clasificarse en débiles y fuertes, dependiendo de la fuerza del enlace entre el metal y el ion cianuro. Los complejos fuertemente enlazados son más estables en solución acuosa y se disocian poco y lentamente. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 37).

### ***Presencia de cianuro en el medio ambiente***

Se conocen muchas fuentes de emisión de cianuros a las aguas superficiales. Los cianuros pueden contaminar el agua a través de los vertidos de los residuos de las plantas industriales y pueden ser esparcidos por los campos y zonas urbanas. Como componente de las aguas residuales, están presentes en los efluentes de los procesos de la industria galvánica, la extracción de oro y plata y la producción de medicamentos. El agua que contiene iones de cianuro suele tratarse con dióxido de azufre, proceso de cloración y/o aireación. El tratamiento más eficaz utiliza el ácido de Caro (ácido hidroperoxisulfúrico)

El tratamiento biológico es factible gracias a los microorganismos, como las bacterias y hongos (por ejemplo, la bacteria *Pseudomonas fluorescens* y el hongo *Fusarium solani*). Con la presencia de glucosa y en condiciones aeróbicas, los microorganismos usan el ferrocianuro como fuente de nitrógeno

y carbono. Biodegradando tanto aeróbica como anaeróbica, el amoníaco y el dióxido de carbono. (Jaszczak, Polkowska, Narkowicz, y Namieśnik, 2017)

### ***Contaminación por cianuro***

Los compuestos de CN están insólitamente presentes en concentraciones cuantificables en aguas continentales no contaminadas, No obstante, este químico se puede encontrar en las aguas residuales industriales a niveles de hasta 10.000000 veces mayores que en la naturaleza. La minería aurífera está sindicada como una de las causas de mayor incidencia de cianuro, en general, es a sus alrededores en donde se pueda encontrar mayor contaminación producto de la descarga de efluentes cianurados al medio ambiente, así también este proceso productivo ha tenido una amplia cantidad de accidentes de alto impacto para todos los ecosistemas, afectando a regiones remotas hasta los 2000 km de los sitios donde se generan los accidentes. (Sacher 2010).

### ***Toxicidad del cianuro para los seres vivos***

Por su propiedad altamente reactivo y muy tóxico, es empleado desde hace mucho con fines suicidas u homicidas debido a su acción rápida y letal. Hoy retomó importancia por demostrar eficiencia en el proceso hidrometalúrgico en la industria metalúrgica de metales pesados y al progreso de la química aplicada que ha inventado compuestos muy necesarios en la vida cotidiana, pero que se tornan mortales al combustionar. Además, es el actor principal en las catástrofes ambientales de Bophal, en la India, y Baia Mare, en Rumania. (Ramírez)

Cada día las personas interactúan con el cianuro o sus derivados debido a los productos que usa y los alimentos que consume. La razón más común de decesos está relacionada a la ingesta de plantas cianogénicas, las cuales provocan una parálisis permanente en las extremidades por sus altos niveles de cianuro. A nivel tisular (tejidos) priva de oxígeno mediante la inhibición de la acción de las enzimas respiratorias afectando el sistema respiratorio. (Guerrero, 2006).

### Toxicidad para el ser humano

La clasificación de reactividad que tiene el CN podría explicar el gran efecto negativo que tiene para los seres vivos, por ejemplo, el cianuro de hidrógeno está catalogado como un compuesto químico mortal para un adulto mayor solo en dosis del volumen de un grano de arroz, cabe precisar que la vía de ingreso del CN al cuerpo puede ser por vía digestiva, dérmica y respiratorio.

Al estar expuesto a este compuesto, ya sea en estado sólido, gaseoso o líquido, el cuerpo puede bioacumularlo a una velocidad importante una vez ingresado al torrente sanguíneo. Sin embargo, puede ser más perjudicial cuando se inhala, porque este se distribuye y acumula a una velocidad a un mayor. En caso de dosis letales o también conocidas como inmediatamente peligrosas para la vida y la salud, el cianuro genera que la respiración celular se realice eficientemente, representando esto un componente crítico para la vida. Esta ausencia del oxígeno en la sangre puede llevar a generar un colapso en los distintos sistemas del cuerpo y ocasionando en la mayoría de los casos un paro cardíaco o respiratorio. Un adulto promedio expuesto a cantidades muy pequeñas es suficiente para provocar su muerte: basta por ejemplo 50 mg de vapor de cianuro de hidrógeno, o la ingestión de 200 a 300 mg de cianuro de sodio.

Una exposición crónica, tiene también efectos considerables sobre la salud: causa náuseas, irritación de los ojos, pérdida de apetito, migrañas. Además, puede atacar las fibras musculares del corazón o afectar al funcionamiento de la tiroides.

### Toxicidad para los animales

Es conocido que la exposición de animales a dosis letales de cianuro es mortal originando que estos mueran rápido, mientras que en dosis no-letales, estos pueden llegar a metabolizarlo expulsándolos vía sus excrementos. Por esta razón, ciertos investigadores sospechan que estos no bioacumulan el cianuro. Sin embargo, hay evidencias de que algunos complejos metal-cianuro si se acumulan en el cuerpo de los peces generando una contaminación a largo plazo.

Los peces, se destacan por ser una de las especies más sensibles, pues a concentraciones muy bajas, como por ejemplo de 0.2 miligramos por litro son



fatales para la mayoría de las especies. Efectivamente, los peces son mucho más sensibles al cianuro que los seres humanos. En el apartado crónico, también se llega a la intoxicación. Concentraciones sumamente bajas (de apenas 0.005 miligramos por litro, ya afectan drásticamente en la reproducción y movimiento de los peces y pueden llegar a ser catalogados como no aptos para el consumo humano ya que pueden ser una vía de absorción. Cabe destacar que estas concentraciones son ínfimas comparadas a las de las aguas contaminadas de la industria aurífera, la cual puede contener entre 40 y 2000 miligramos de cianuro por litro. Las aves y mamíferos son ligeramente más resistentes. Sin embargo, dosis de alrededor de 1 miligramo por litro son suficientes para provocar su muerte a todo nivel.

#### Toxicidad para los vegetales

Actualmente no existen datos en cuanto a un impacto de consideración para las plantas. Se estableció por ayuda de expertos, que a concentraciones muy elevadas en el medio en donde existen puede impedir la respiración de plantas de gran tamaño y llevarlas a la muerte. Existen también plantas que pueden acumular durante largos periodos ciertas variedades de complejos en donde existe presencia de cianuro (Sacher 2010).

#### ***Métodos de reducción del cianuro en efluentes***

Métodos electroquímicos. - se basan en reacciones de oxidación-reducción promovidas por una corriente eléctrica que fluye a través de una célula electrolítica mediante electrodos sumergidos en la solución a tratar; pueden usarse para la eliminación de cianuros y también para la recuperación de los metales electrodepositados de la solución con el objetivo de reutilizarlos en el proceso galvánico. Frecuentemente se usa la regeneración de los baños de tratamiento. la purificación de las corrientes de lavado. y la depuración de la corriente de lavado. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 95).

Recuperación de metales. – la metodología aplicada a la recuperación electroquímica de metales se apoya en las reacciones redox que se da en la superficie de los electrodos sumergidos en el metal, bajo la acción de una

diferencia de potencial. En el cátodo el ion metálico se reduce a su forma elemental y, dependiendo de la composición química de la solución, las reacciones de oxidación en el ánodo conducen a la oxidación del ion metálico. Las reacciones de oxidación en el ánodo conducen a la formación de gases como el oxígeno, el hidrógeno, o el nitrógeno. debido al alto grado de selectividad del proceso, el metal depositado en la superficie del cátodo tiene un grado de pureza que permite su reprocesamiento. Cuando se llegue al grosor deseado, el depósito de metal puede ser retirado y usarse nuevamente en el baño galvánico. El elemento catódico recubierto con el metal puede actuar directamente como ánodo en el proceso de deposición galvánica (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 95).

Eliminación de cianuros. - La eliminación de cianuro por medios electroquímicos se basa en procesos de oxidación que pueden realizarse por método electroquímico indirecto (donde el agente oxidante que proporciona el cianuro se produce in situ por la acción del potencial aplicado, comúnmente el oxidante es el hipoclorito de sodio, formado por la electrólisis del NaCl que se dosifica en los residuos a tratar. La técnica, adecuado para el tratamiento de residuos que contengan cianuros en concentraciones inferiores a 500 ppm) y el método electroquímico directo (donde la oxidación directa del ion cianuro a cianato, que posteriormente se descompone a CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>, amonio y carbonato u oxalato dependiendo del valor del pH de solución. El tratamiento es adecuado para los residuos que contienen cianuros en concentraciones superiores a 1'000 ppm) (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 96).

#### Método de electrocoagulación

La eliminación de contaminantes de los efluentes mediante la electrocoagulación implica el uso de una celda electrolítica con electrodos solubles en la que, a diferencia de los métodos tradicionales, el coagulante no se añade a la solución, sino que se genera in situ mediante la oxidación electrolítica de un ánodo de sacrificio de material adecuado. Los iones - metálicos y no metálicos- se eliminan del efluente por reacción con un ion de carga opuesta o por adsorción en un floema de hidróxido metálico, con una

elevada superficie, generado en el bulto y capaz de realizar una intensa actividad de coagulación y adsorción. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 105).

Método de adsorción e intercambio iónico. - Se basan en procesos que se crean gracias a la interacción física (fuerzas electrostáticas) y/o química del contaminante (adsorbido) en fase líquida (o gaseosa) con la superficie de un material adsorbente, frecuentemente presente en fase sólida.

El proceso de adsorción se diferencia en:

- adsorción física: Resulta de las interacciones electrostáticas entre el adsorbente y el adsorbato y se caracteriza por una amplia reversibilidad.
- adsorción química: Resultante de interacciones químicas entre el adsorbente y el adsorbato a menudo irreversible. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 112).

Método de adsorción con alúmina activada. - La adsorción con carbones activados es una de las metodologías de eliminación más difundidas en la industria debido a la alta capacidad de adsorción del material, lo que incentiva su uso sobre una serie de contaminantes y diferentes matrices, tanto gaseosas como líquidas. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 114).

Extracción con disolvente. - Se produce al poner la solución en contacto con un disolvente inmiscible por el que el contaminante tiene una mayor afinidad que la solución de partida. Al contactarse se genera un proceso de transferencia de masa del contaminante desde la solución a purificar al disolvente.

El proceso requiere que posteriormente se separe el contaminante del disolvente al que se ha transferido para su ser usado nuevamente en un nuevo ciclo de extracción. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 155).

Métodos oxidativos. - Para destruir el cianuro, se necesitan métodos de oxidación posteriores. La oxidación del cianuro se puede llevar a cabo usando métodos catalíticos, químicos, biológicos, electrolíticos, y métodos fotolíticos (YOUNG et al., 1995)

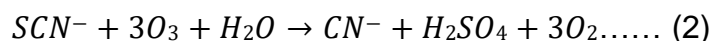
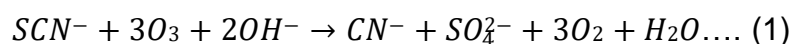
Oxidación catalítica. - La creación del agente oxidante -y, por tanto, la eficacia del proceso de oxidación- se ve reforzada por la presencia de un catalizador.

Los catalizadores que son usados en el proceso de ozonización son, por ejemplo, sistemas mixtos de Ni, Co y Ni-Co soportados sobre alúmina.

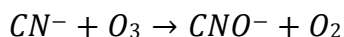
Los resultados de la experimentación de brecha [Udrea] indican que la presencia del catalizador genera un aumento considerable de la velocidad de reacción en el proceso de ozonización de  $SCN^-$  (tiocianato). La alúmina pura no presenta una actividad catalítica considerable en la conversión de  $SCN^-$ , tomado como referencia únicamente el papel de soporte para una óptima distribución de la fase activa. Sin tomar en cuenta el tipo de componente activo ( $NiO$ ,  $Co_3O_4$ ), los catalizadores de un solo elemento poseen una menor actividad catalítica que el sistema mixto  $NiO-Co_3O_4$ . Este escenario puede atribuirse a la interacción de los óxidos metálicos con la superficie de la alúmina o a la formación de nuevos sitios activos en la superficie del catalizador.

La oxidación del  $SCN^-$  con el ozono tiene lugar en dos etapas:

- oxidación de tiocianatos a cianuros con formación de ácido sulfúrico



- la oxidación de cánidos a cianatos



El análisis cuantitativo de los iones de sulfato evidencia que todo el azufre de los tiocianatos se transforma en sulfato.

La mayor conversión revelada en el proceso de ozonización catalítica puede atribuirse a la relación ozono-catalizador. De hecho, se sabe que el ozono crea radicales hidroxilos en una solución acuosa alcalina; como respuesta del ambiente fuertemente ácido que se determina durante la reacción para la formación de ácido sulfúrico (ref. reacciones 1 y 2), se puede asumir que a pH

= 3 y en ausencia de catalizador el proceso de oxidación. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 167).

Cloración alcalina. - La cloración en condiciones alcalinas es el método más usado para la degradación de algunos compuestos orgánicos, cianuros libres y algunos complejos metal-cianuro débil.

Eliminación del cianuro. - El proceso se apoya en la oxidación del  $CN^-$  y de algunos complejos WAD (por ejemplo, cianuros de Cu, Cd, Ni) en primer lugar a cianatos ( $CNO^-$ ) y posteriormente a  $CO_2$  y  $N_2$ . Como oxidantes puede usarse el gas cloro o el hipoclorito ( $ClO^-$ ). El pH > 9,5 se controla mediante adición de NaOH o CaO. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 173).

### Ozonización

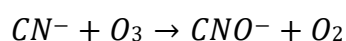
Al ser un gas químicamente inestable y de rápida descomposición tras su generación es necesario su producción in situ para aprovechar su poder oxidante en las diversas aplicaciones. La generación de ozono se realiza al inyectar un flujo de aire seco u oxígeno puro a través de un sistema de electrodos de alta tensión. u oxígeno puro a través de un sistema de electrodos de alto voltaje, esta produce un efecto corona capaz de aislar las moléculas de oxígeno produciendo radicales libres que, en paralelo forman ozono por reacción con el oxígeno. La formación de ozono con oxígeno puro requiere generadores de limitado tamaño en contraste con los sistemas que usan aire. La eficacia de los generadores es modesta comúnmente, esto debido a que una gran parte de la energía absorbida se pierde en forma de calor.

La eficacia de transferencia del ozono al reactor es subjetiva a las características del agua residual a tratar, del pH, la temperatura y la cinética de reacción del ozono con los distintos contaminantes presentes. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 180).

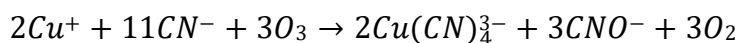
Para la eliminación del cianuro, el pH, el tiempo de reacción, la relación  $O_3/CN^-$ , son los parámetros críticos a tomar en cuenta. La eficacia de reducción es prometedora operando en condiciones de concentraciones de ozono altas, la formación de pequeñas burbujas promete un mayor rendimiento para el mismo

volumen de gas introducido. La oxidación de los complejos metal-cianuro débiles de Cd, Cu, Ni, Ag y Zn (WAD) o de los cianuros libres por ozonización necesitan condiciones alcalinas (pH 9-11). La descomposición se da de manera progresiva oxidando en principio el cianuro y obteniendo como resultado el cianato, posterior a ello los cianatos se hidrolizan creando bicarbonato y nitrógeno.

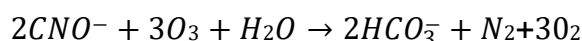
En condiciones de exceso de ozono y en un ambiente alcalino con valores de pH en el rango 9-10, la primera fase tiene lugar en un rango de 10-15 minutos, según la reacción:



Si se presenta iones de cobre la oxidación de los cianuros se ve favorecida según lo representado:



En la etapa de hidrólisis de los cianatos tiene lugar en condiciones de exceso de ozono; el cianato se hidroliza en bicarbonato y gas nitrógeno de acuerdo a la siguiente expresión:

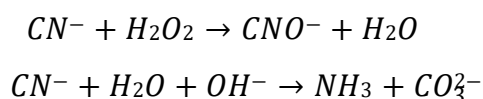


Esta segunda reacción se crea de manera más lenta en comparación con la formación de cianato y suele realizarse considerando valores de pH en el rango de 10 y 12, espacio donde la reacción es casi constante. El uso de la radiación UV para promover la creación de radicales y la presencia de cobre, por otra parte, aceleran la velocidad de la hidrólisis. La variación limitada de la temperatura no tiene mucha influencia para alterar la velocidad del proceso.

Para tratar complejos fuertes, como los que contienen Fe y Co, las condiciones de funcionamiento necesita adaptaciones, incluyendo un aumento del tiempo de exposición a la radiación ultravioleta.

Los tiocianatos son oxidados directamente por el ozono cuando el de pH > 11: el tiocianato SCN<sup>-</sup> primero reacciona con el ozono para formar CN<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; luego el cianuro libre CN<sup>-</sup> se oxida a cianato CNO<sup>-</sup>. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 181).

Tratamiento con peróxido de hidrogeno. – este agente es otro oxidante eficaz para el tratamiento de los complejos débiles de metal-cianuro WAD y del cianuro libre. Aunque el ozono es un oxidante más fuerte que el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, los cianuros pueden transformarse completamente en amoníaco y carbonatos en condiciones alcalinas, así lo señala las siguientes reacciones:

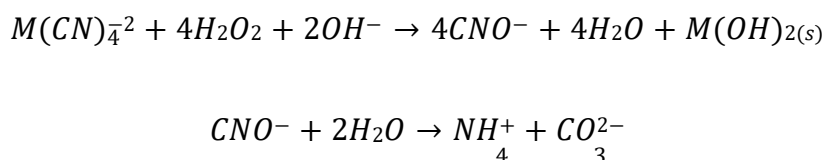


para la primera de las dos reacciones el pH ideal está entre de 9,5 a 10,5; no obstante, la segunda reacción es se da en tiempos mucho más prolongados en condiciones alcalinas. La rapidez de la reacción de oxidación depende también de la concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y la temperatura.

Es viable incrementar la velocidad de reacción usando el cobre como catalizador metálico, este reacciona con el amoníaco desarrollado la reacción de descomposición para formar un complejo de tetra-amina no reactivo.

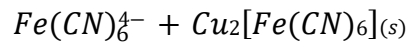
El método de oxidación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> catalizado por cobre habitualmente es usado en la industria minera.

La demolición de los complejos metal-cianuro se produce según las reacciones: (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 185).



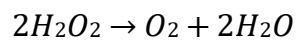
donde M representa un catión metálico, (s) indica la fase sólida. El cobre, que se adiciona como catalizador o ya existe en el efluente en forma de Cu (CN)

32<, es capaz de reaccionar con los complejos fuertes de Fe (CN) 64< para formar un complejo bimetálico insoluble de acuerdo a la reacción:



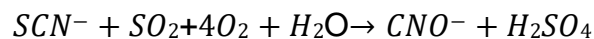
El sulfato de cobre pentahidratado (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) sirve como catalizador hasta llegar a una concentración de cobre del 10-20% de la solución.

La demanda de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para la oxidación completa de los cianuros puede fluctuar entre el 200 y el 450% de la requerida por la estequiometría de la reacción. Este exceso de peróxido de hidrógeno puede señalar, por un lado, la presencia de otras sustancias oxidables en el efluente a tratar que compiten con los cianuros, o de lo contrario, la pérdida del poder oxidante por la descomposición del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> en oxígeno y agua:



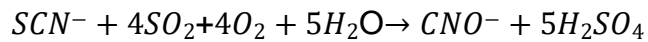
Para minimizar las pérdidas a causa de la degradación del peróxido, se usan estabilizadores como el ácido sulfúrico para formar ácido peroximonosulfúrico (ácido de Caro) y la sílice. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 186).

Tratamiento con dióxido de azufre. – se usa O<sub>2</sub> (aire) y SO<sub>2</sub> para oxidar el los complejos metálicos débiles de cianuro y cianuro libre, en presencia de un catalizador de cobre. Las reacciones del proceso tienen similitud con las de la oxidación con peróxido de hidrógeno o cloro, debido a que nuevamente el producto de la oxidación es el ion cianato (CNO<sup>-</sup>):



Los complejos débiles de metal-cianuro son demolidos también, con la precipitación de hidróxidos de los metales correspondientes el tiocianato sólo se oxida parcialmente en condiciones normales de reacción, (10-20%) según la reacción:





Se añade CaO al reactor para neutralizar el ácido sulfúrico producido en la reacción. Los valores comunes de pH del proceso están en el intervalo de 7-10. La estequiometría de la reacción necesitaría 2,46 gr. SO<sub>2</sub>/ gr.CN<sup>-</sup> ; sin embargo, en la práctica operamos en condiciones de exceso de reactivo, utilizando 3,3 - 3,6 gr. de SO<sub>2</sub> por gr. de CN<sup>-</sup> . (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 189).

#### Fotocatálisis

el más adecuado es el óxido de titanio y sirve para diversas aplicaciones, es relativamente barato y estable a la foto corrosión y a la corrosión química. El interés por usarla es alto, debido a que puede utilizarse con luz natural en el UV cercano (h < 387nm). El ZnO parece ser una alternativa viable al TiO<sub>2</sub>, pero, se diluye en una solución ácida y, se vuelve una limitante en algunas aplicaciones.

#### ***Eliminación de cianuros***

En el proceso de eliminación del cianuro, la degradación se da cuando el compuesto a oxidar se adsorbe primero en la superficie del catalizador y, posterior a ello, se oxida mediante pares electrón-vacante y radicales hidroxilos consumidos en la superficie. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 194).

Controlar el pH es fundamental: los valores de pH menores de 11 conducen a la transformación HCN volátil de los cianuros libres de la forma iónica, estas pueden liberarse durante el proceso, cuando la solución se mezcla con una fase gaseosa especialmente. Experimentos de degradación del CN<sup>-</sup> echas con TiO<sub>2</sub> en presencia de iones Cu (II) arrojo resultados alentadores, pues con una tasa de eliminación de CN<sup>-</sup> del 78% tras 4 h de irradiación UV con 1 g/l de TiO<sub>2</sub> a pH=11. La presencia de Cu (II) y CN<sup>-</sup> ayuda a destruirlo simultáneamente de ambos [Barakat]. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010, p. 195).

#### ***El ozono***

Es una forma alotrópica del oxígeno elemental, formado por tres átomos de oxígeno (O<sub>3</sub>) su olor característico es una de las principales sus principales características, para la inhalación se siente ligeramente picante, entre 0.08 y 0.1 ppm de concentración. En el año de 1783 en Holanda el científico Van Marum, pero no sería si no hasta Schonbein el cual acuñó el título de ozono, que en griego significa olor. (LOPEZ-CEPERO, 2011).

El ozono es un oxidante resistente usado para el tratamiento de agua y desinfección ( $E^\circ = 2,10 \text{ V vs. ENH}$ ). Puede sustituir en ocasiones al cloro y su mayor atributo es que evita la creación de subproductos clorados no deseados, y el olor remanente. El O<sub>3</sub> puede usarse en el tratamiento del agua potable para mejorar el sabor y el color, también se usa para purificar el agua de la industria farmacéutica en circuitos de agua purificada e industrias electrónicas donde se requieren estándares extremos de purificación. No obstante, el ozono no es estable en agua y la vida media del ozono está en el rango de segundos a horas dependiendo de la pureza del agua. (RODRIGUEZ Y BARRERA, 2020)

Desde la perspectiva termodinámica y cinética el ozono O<sub>3</sub>, es un agente con alto potencial, el poder bactericida del ozono es mucho mayores a las del cloro, y son bastante independientes del pH (Holluta. 1964). En Europa El ozono se usa masivamente en el tratamiento del agua (desinfección, sabor, color hierro y manganeso) gracias a sus bondades el ozono compite consigo mismo en el tratamiento de agua, atacando a los microorganismos y reduciendo impurezas químicas. Ingols y Fetner (1957) demostraron que se puede eliminar la bacteria *E. Coli* con ozono. Wuhrman y Mayrath (1958) reafirman la teoría al realizar estudios donde se eliminó el 99,99% de *E. Coli* con una concentración de 0,010 ppm de ozono libre disponible en menos de 100 segundos.

en la desinfección de aguas que presentan elevadas cargas de materia orgánica o impurezas inorgánicas oxidables. El ozono no es muy eficiente (WEBER, 1979).

## Características del Ozono

Propiedades físico-químicas. - el ozono es un oxidante muy potente, su utilidad para degradar compuestos es atribuida a sus propiedades y se aplica mayormente para la reducción de compuestos nocivos para el medio ambiente o para desinfectar el agua;

Tabla 1. propiedades físico-químicas del ozono

Umbral Olfatico	0.02 ppm
Peso Molecular	48 g/mol
Densidad (a 0 °C y 101,3 Kpa)	2,154 g/l
Potencial Redox	2.07 V
Punto de Ebullición (a 101,3 Kpa)	-111,9 °C
Punto de Fusión del O <sub>3</sub> Solido	-192.5 °C
Solubilidad en agua: -A 0 °C	20 mg/l
-A 30 °C	1,5 mg/l

El ozono también tiene el inconveniente de ser parcialmente inestable en disolución acuosa: el pH 7 y la temperatura de 20°C son las condiciones en la que la vida media del ozono en agua oscila entre 20 minutos y 160 minutos, incrementando en medio básico su inestabilidad. (RODRIGUEZ, 2015)

### ***Procesos avanzados de oxidación basados en el ozono***

Ozonización en medio alcalino (O<sub>3</sub>/OH<sup>-</sup>).

A inicios del siglo XX exactamente en Niza – Francia, se utilizaba el ozono como un bactericida para el tratamiento de las aguas aptas para el consumo humano. En nuestra actualidad su uso y el nivel de propiedades que tiene son muy conocidas entre las que podemos tener; eliminación de microorganismo evitando que las características del agua se vean severamente afectadas, eliminación de algunos compuestos inorgánicos, eliminación de algunos microorganismos patógenos y algas, depuración de los micro contaminantes de característica orgánica, cero generaciones de compuestos organoclorados y una mayor eficiencia en las etapas de adsorción y coagulación. La rotura de los enlaces del ozono como por el ejemplo el medio acuoso, hace que se genere oxígeno y con esto una pluralidad de especies iónicas y radicalarias que tienen las mismas propiedades de poder oxidar a otros compuestos químicos.

Uno de los compuestos son las radicalarias, las cuales se crean y son aún más oxidante que el ozono y es el radical hidroxilo ( $\text{HO}^\bullet$ ) ( $E_0 = +2.85 \text{ V}$ ), este tiene un estupendo nivel de reacción, pero son pocos selectivos. Según lo ya expuesto, las dos principales vías que tiene este oxidante frente a los contaminantes son: reacción directa del sustrato con el ozono molecular, la genera una reacción selectiva y lenta o cero frente algunas especies y mediante descomposición y creación de radicales hidroxilos ( $\text{HO}^\bullet$ ), que si pueden reaccionar al sustrato de forma mucho más rápida pero no selectiva. Cabe señalar que esta descomposición del ozono implementado en un medio básico se encuentra totalmente favorecido (Prado 2010).

### **Reactor de ozonización: producción de burbujas y transferencia de masa de agua.**

Un reactor de ozonización es un sistema que consta básicamente de dos fases (gaseosa y fluida) donde el ozono debe transferirse bajo condiciones controladas para la reacción química. Para los reactores mixtos (gas-liquido), el principal parámetro de diseño es la presión parcial absoluta del ozono.

la reacción del ozono, la cinética y la tasa de transferencia de masa de ozono de fase gaseosa a fase líquida determinara la eficacia del ozono como desinfectante u oxidante. Entonces el proceso de ozonización está sujeta en gran medida de la concentración parcial de ozono en el gas y la tasa de transferencia de masa de ozono. Mientras que a uno lo limita generador de ozono, el otro depende de la distribución de ozono en la fase líquida entregada por el sistema contactor gas-liquido.

Incrementar la zona interfacial disponible para transferencia de masa al reducir el tamaño de las burbujas de gas diseminadas en solución e incrementando su tiempo de residencia es La forma más eficaz de incrementar la tasa de transferencia de masa de ozono. Con esto, la tasa de transferencia de masa será un máximo si una determinada masa de la mezcla gaseosa ingresa en el líquido creando un gran número de micro burbujas, adicionando así el máximo área de la zona de reacción situado en el interfaz gas/liquido (Morais, Vilela, Carneiro y Gomes, 2009).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

Según su finalidad es de tipo aplicada y según su profundidad es de tipo correlacional con enfoque cuantitativo. Asimismo, desarrollo un diseño experimental.

[HERNANDEZ, FERNANDEZ Y BAPTISTA \(2010\)](#), dicen “que la investigación correlacional, asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o poblacional” (p.81). “Señalan también que el enfoque cuantitativo usa la correlación de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teoría” (p.4).

Por tanto, la presente investigación según su finalidad es de tipo aplicada puesto que se pretendió dar a conocer el método de ozonización como una alternativa de proceso de oxidación, para reducir de manera eficiente el contaminante cianuro presente en los la aguas residuales de la industria galvánica a través de mecanismo de reducción cinética.

[HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ Y BAPTISTA \(2010\)](#), “indica que una acepción particular de experimento, más armónica con un sentido científico de la expresión, hace alusión a un estudio en el que intencionalmente se manipulan una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para estudiar las consecuencias que tiene sobre una o más variables dependientes la manipulación (supuestos efectos-consecuentes), dentro de un escenario de control para el investigador” (p.121).

La investigación es de diseño experimental, dado a que sostiene aspecto cuantitativo y la variable reducción de cianuro fueron manipuladas intencionalmente mediante parámetros, así como la variable ozonificación fue manipulada con los parámetros de diseño

### 3.2. Variables y operacionalización

Las variables que se determinaron para el estudio se clasificaron en las siguientes categorías:

#### 3.2.1. Variable Independiente: Ozonificación

Se determinó como variable independiente, puesto que estableció los cambios en la variable dependiente.

#### 3.2.2. Variable Dependiente: reducción de concentración de cianuro.

Se determinó como variable dependiente, debido a que fue afectada por la presencia de la variable independiente.

Ambas variables son de tipo cuantitativa.

Para la operacionalización de las variables, se elaboró una matriz ubicada en el Anexo 1.

### 3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población:

“Colectivo objeto de estudio compuesto por un grupo de elementos con características parecidas y sobre el que se intenta inferir regularidades” ([Morillas 2007](#)).

La población del estudio de la presente investigación la constituye las aguas de lavado de la industria galvánica en el mes de mayo de 2021. El volumen total de aguas de lavado es 2m<sup>3</sup> a 3 m<sup>3</sup> de lavado.

Muestra:

“Colectivo que se investiga o subconjunto de la población. Debe ser representativa del conglomerado de la población” ([Morillas 2007](#)).

Para la presente investigación se necesitó 9 litros del agua de lavado del proceso de lavado de la empresa galvánica que ingresa al sistema de retroalimentación.

Para los análisis de reducción de cianuro en la salida del sistema de tratamiento de considero 500ml de efluente tratado.

Muestreo:

“Muestreo no probabilístico, aquí, todas las unidades que conforman la población no poseen la misma probabilidad de ser seleccionada “es conocido también como muestreo por conveniencia, no es aleatorio razón por la que se desconoce la probabilidad de selección de cada unidad o componente de la población” ([López 2004](#)).

Para la toma de muestra se trabajó con el procedimiento no probabilístico debido a que las muestras (litros de agua residual de la industria galvánica) fueron seleccionadas según el criterio del investigador.

Unidad de análisis:

La unidad de análisis son los efluentes provenientes del proceso de lavado de la industria galvánica

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección:

Según [HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ Y BAPTISTA \(2010\)](#), “la observación es un método de recopilación de datos que se basa en el registro metódico, válido y confiable de conductas y situaciones

observables, a través de un grupo de categorías y subcategorías” (p.261).

El método de recolección que se aplicó se basó en la **observación experimental**; ya que la variable independiente ozonificación fue manipulada para para conseguir el mejor resultado que afectó de forma directa a la variable dependiente que es la reducción de cianuro. De igual manera, se realizó una medición directa de concentración de cianuro a las muestras finales recolectadas para conocer que reductor cinético es más efectivo en el tratamiento.

Instrumento de recolección:

Los instrumentos de recopilación que se utilizaron para esta investigación fueron los siguientes:

- Ficha de recolección de datos en campo: Utilizada para el levantamiento de información inicial durante la etapa de Ozonificación de los efluentes de la industria galvánica de las mediciones de las dimensiones de la variable dependiente en las condiciones de tratamiento.
- Resultados de análisis de los parámetros Cianuro: Empleada para el levantamiento de información final después de la etapa de tratamiento ozonificación de los efluentes de la industria galvánica para la reducción de concentración de cianuro.
- Potenciómetro: Medidor de parámetros de pH antes; y después del tratamiento Ozonificación de los efluentes del sistema a contracorriente.
- Cadena de custodia para análisis de muestras en Bureau Veritas: Empleada para la entrega de las muestras al Laboratorio para su etapa de análisis.
- Para certificar la eficacia y seguridad de los instrumentos que se usaron en la cogida de datos de esta investigación, se pasó por un proceso de estimación ofrecida por los profesionales Colegiados en Ingeniería Ambiental y/o carreras afines al tema.



### 3.5. Procedimientos

#### 3.5.1. Toma de muestra

Ubicación e identificación de la zona para toma de muestra:

La recolección y toma de las muestras de los efluentes de la industria galvánica se realizaron en una zona situado en Puente Piedra – Lima.

Recolección de la muestra:

Se extrajo la muestra de agua industrial **galvánica** requerida (20 litros), se almacenó en 3 envases de 20 litros (ver Figura 1). La toma de muestra de agua se realizó bajo los lineamientos del Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua (2016)



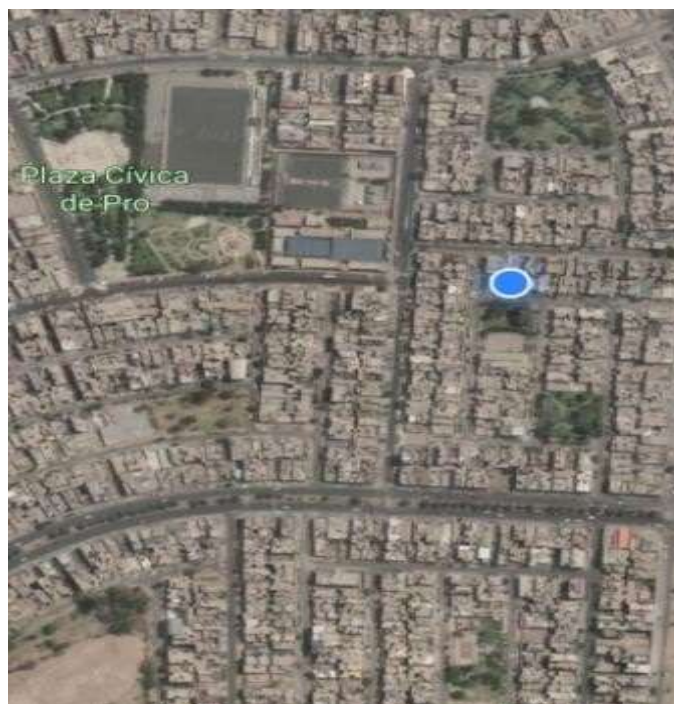
*Figura 1. almacenamiento de muestra (Autor propio)*

#### 3.5.2. Sistema de tratamiento

Ubicación e identificación de la zona para tratamiento de muestra:

Debido a la coyuntura se instaló el módulo de ozonificación en la casa del tesista Eloy, en donde después de instalado el sistema de tratamiento se procedió a desarrollar las corridas.

La georreferencia del lugar donde se encuentra el módulo de ozonificación, son las siguientes, Coordenadas: Norte: 86°79716.62 Este: 27°4158.88 de la zona 18 ubicada en el Distrito de Lima. **Figura 2**



*Figura 2. ubicación de prueba piloto, (Google Earth 2021)*

### Ensamblaje del sistema de tratamiento

#### Materiales y equipos:

- Generador de ozono
- Columna acrílica de 59cm x Ø19cm
- Tuberías tipo codo, válvula mariposa
- Reductor de 2" a ½ - ½" a 1/8"
- ducha de Ø8"
- Cinta teflón
- Manguera de PVC ½" y 1/8"
- Herramientas varias
- Bomba sumergible 1800lt/h
- Baldes de 8L / 20L
- Silicona Sika Flex
- Pegamento de tuberías PVC
- Extensión eléctrica de 3mt
- Multiparámetro HACH

## Procedimiento metodológico

1: Se realizó la limpieza de todos los materiales y equipos a utilizar en la instalación del módulo, así como el área en donde se realizarán las pruebas para la reducción del cianuro.



*Figura 3. Generador de ozono (Autor propio)*



*Figura 4. Columna de acrílico (Autor propio)*



*Figura 5. Bomba sumergible (Autor propio)*



*Figura 6. Ducha 8" (Autor propio)*



*Figura 7. tuberías y válvulas (Autor propio)*



*Figura 8. Reductor de 1/2" a 1/8" (Autor propio)*



*Figura 9. manguera de PVC (Autor propio)*



*Figura 10. Teflón (Autor propio)*



*Figura 11. Herramientas Varias (Autor propio)*



*Figura 12. Juego de llaves (Autor propio)*

2: Se colocó los soportes en donde descanso el generador de ozono, el reactor y el tanque colector de muestra.

3: En la base del reactor se instala una ducha, la cual fue pegado con SIKAFLEX 11 FC, seguidamente se le instaló el reducto de 1/2" a 1/8", para así posteriormente ser colocado en el pilar.



*Figura 13. colocación del reductor (Autor propio)*



*Figura 14. unión manguera y generador o3 (Autor propio)*

4. Se midió la distancia, desde el punto de salida del generador de ozono hasta la base del reactor para poder colocar los extremos de la manguera que abasteció de ozono al sistema.

5. Se procedió a instalar la bomba sumergible dentro del tanque colector de muestra y se procedió a medir la distancia hasta la parte superior del reactor contra corriente para determinar la distancia.

6. En la parte lateral derecha inferior del reactor se instaló una reducción de 2" a 0.5", así como una unión, tubería de media y una válvula mariposa al fin de la línea para poder recircular el efluente tratado



*Figura 15. colocación de bomba (Autor propio)*

7: Se procedió a pesar las chapas, los cuales fueron el primer reductor cinético, y posteriormente vertidas al reactor a contracorriente

8: Una vez conectado todos los accesorios, se pasó a realizar la primera corrida, volumen total recirculado por proceso 9 L



*Figura 16. modulo instalado (Autor propio)*



*Figura 17. modulo instalado con material de retención (Autor propio)*

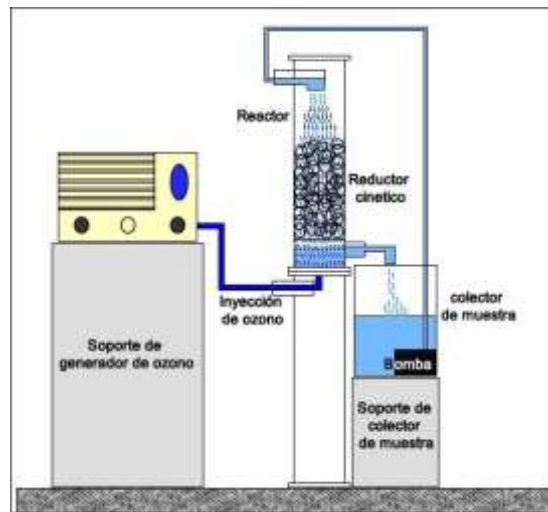
9. Se homogenizó la muestra obtenida por medio de agitación y se recolectó la primera muestra para poder determinar la concentración del cianuro y pH mediante análisis en un laboratorio externo.



*Figura 18. rotulado de muestras (Autor propio)*

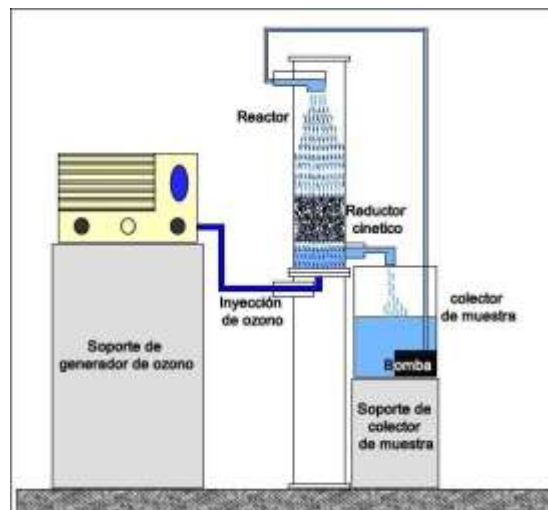


## Diagramas del sistema



*Figura 19. Módulo con chapas enteras (Autor propio)*

Modulo experimental utilizando en la oxidación de cianuro con ozono con chapas enteras como material de retención



*Figura 20. Módulo con chapas molidas (Autor propio)*

Modulo experimental utilizando en la oxidación de cianuro con ozono con chapas molidas como material de retención

Tratamiento de oxidación de cianuro con ozono

Prueba experimental con tiempo de retención 10 minutos

Se conectó el generador de ozono y la bomba de recirculación a la corriente eléctrica y se procedió a esperar 10 minutos de tratamiento para recolectar una muestra, seguidamente al retiro de la primera muestra se volvió a activar los equipos por unos 10 y 20 minutos más, recolectando una muestra en cada intervalo de tiempo. Entre cada retiro de muestras se estuvo verificando el caudal de entrada al reactor, así como el que abandona el equipo.



*Figura 21. recolección de la combinación 1 (10 min y chapas enteras). (Autor propio).*

10 min + Chapas enteras

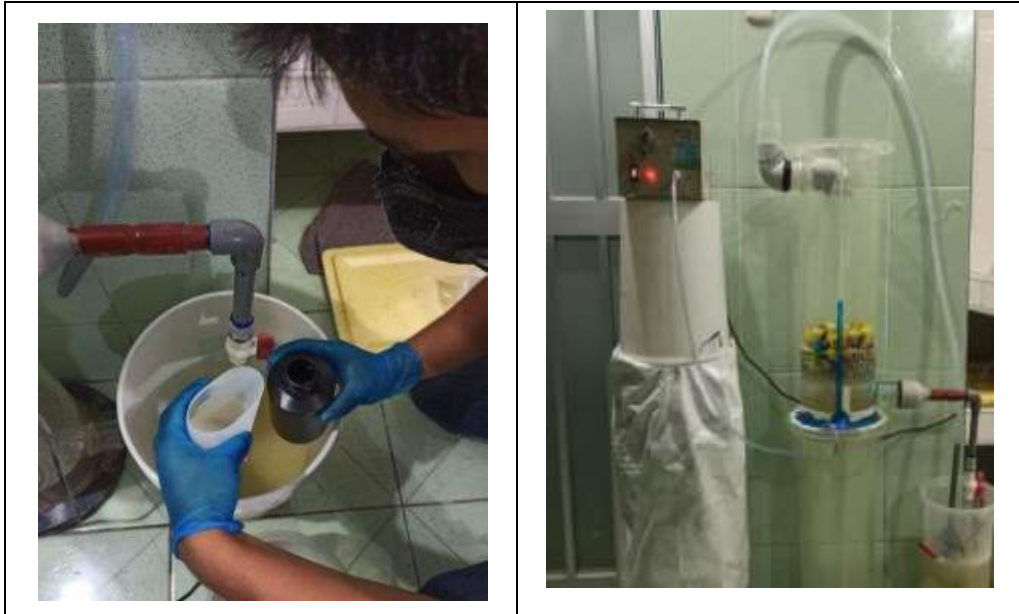
10 min + chapas molidas

Una vez que se realizó la recirculación por un espacio de 10 minutos, se muestrearé 500 ml del efluente para poder determinar la concentración de cianuro.

Una vez recolectado las muestras se las rotuló y preservó con NaOH para evitar que la muestra se pueda degradar y se procedió a llenar la cadena de custodia para el ingreso al laboratorio.

Prueba experimental con tiempo de retención de 20 min





*Figura 22. toma de muestra del tratamiento en 20 min (Autor propio).*

20 min + Chapas enteras

20 min + chapas molidas

Una vez que se realizó la recirculación por un espacio de 20 minutos, se muestreo 500 ml del efluente para poder determinar la concentración de cianuro.

Prueba experimental con tiempo de retención de 30 min



*Figura 23. toma de muestra del tratamiento para el tiempo 3 (30´) (Autor propio).*

30 min + Chapas enteras

30 min + chapas molidas

Una vez que se realizó la recirculación por un espacio de 30 minutos, se muestreo 500 ml del efluente para poder determinar la concentración de cianuro.

Las muestras fueron rotuladas con la siguiente codificación para enviar analizarlos al laboratorio

PA-01: sin tratamiento. Línea base de concentración de cianuro

CTCH10: Tratamiento con chapa entera con 10 minutos de tratamiento

CTVI10: Tratamiento con chapa molida con 10 minutos de tratamiento

CTCH20: Tratamiento con chapa entera con 20 minutos de tratamiento

CTVI20: Tratamiento con chapa molida 20 minutos de tratamiento

CTCH30: Tratamiento con chapa entera con 30 minutos de tratamiento

CTVI30: Tratamiento con chapa molida con 30 minutos de tratamiento

Para lograr un contraste referencial se tomó una muestra de 4 litros y se inyectó ozono directamente por burbujeo simple para comparar la eficiencia del sistema con respecto a un sistema convencional (no contracorriente). Esta prueba se realizó por un tiempo de 20 minutos y se envió a laboratorio para conocer los resultados y discutir al respecto, la muestra se rotuló:

MR01: Muestra de referencia con 20 minutos de tratamiento

Posteriormente se homogenizo toda la muestra sobrante la cual se obtuvo 9.5 litros, esta muestra fue la nueva línea base para la segunda corrida por lo tanto se tomó 500ml de muestra para su cuantificación del cianuro presente, luego se procedió a homogenizar la muestra y dividir en dos grupos iguales para realizar las corridas correspondientes a cada proceso, con chapas enteras y chapas molidas.

Cada corrida se realizó con una muestra de 4.5 litros considerando todos los lineamientos anteriores desde la una muestra inicial (PA-01) completando las 7 necesarias:

PA-01: sin tratamiento. Línea base de concentración de cianuro

CTCH10: Tratamiento con chapa entera con 10 minutos de tratamiento

CTVI10: Tratamiento con chapa molida con 10 minutos de tratamiento

CTCH20: Tratamiento con chapa entera con 20 minutos de tratamiento

CTVI20: Tratamiento con chapa molida 20 minutos de tratamiento

CTCH30: Tratamiento con chapa entera con 30 minutos de tratamiento

CTVI30: Tratamiento con chapa molida con 30 minutos de tratamiento

### 3.6. Método de análisis de datos

Se manejarán con estadística descriptiva para calcular medias de las concentraciones promedias en los tres tiempos de retención y se desarrollara la regresión lineal de los datos (concentraciones de cianuro vs. Tiempo de retención) y finalmente se determina la confiabilidad de los datos con la estadística inferencial y ayuda del software Excel.

### 3.7. Aspectos éticos

El presente trabajo se basa en los principios acordados en el Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú. Se admiró la propiedad intelectual que fortalece la investigación, mediante el sistema ISO y en base a los lineamientos establecidos por la Universidad César Vallejo se usó el aplicativo TURNITIN para autenticar la siguiente tesis.

La data que se expresé será verídica, ya que se será obtenida a través de los mecanismos descritos y contará con validación profesional. Además, la confianza de los materiales que se utilizaron se aprobó mediante los certificados de calibración, lo que certifica la exactitud de los resultados.

Por ello la información mostrada no tendrá data o texto manipulado, que incida en una falta para la ética.

#### IV. RESULTADOS

##### 4.1. Caracterización. Parámetro: cianuro total

Tabla 2. Resultado de efluente de la empresa galvánica

Parámetro	Concentración inicial de primera corrida	Concentración inicial de segunda corrida	Unidad
Cianuro total	318, 5	247.8	mg/L

Fuente: datos extraídos del Informe de ensayo N°212469 / 213292(Anexo N°7)

La tabla 2 muestra el resultado de caracterización del cianuro total del efluente de la industria galvánica previo tratamiento de oxidación con el ozono (PA-01).

##### 4.2. Resumen del diseño experimental de combinaciones de variables

La matriz construida de las posibles combinaciones de las variables de entrada (tiempo de reacción y material de retención) de la variable respuesta (reducción de concentración de cianuro).

Tabla 3. Matriz de combinaciones

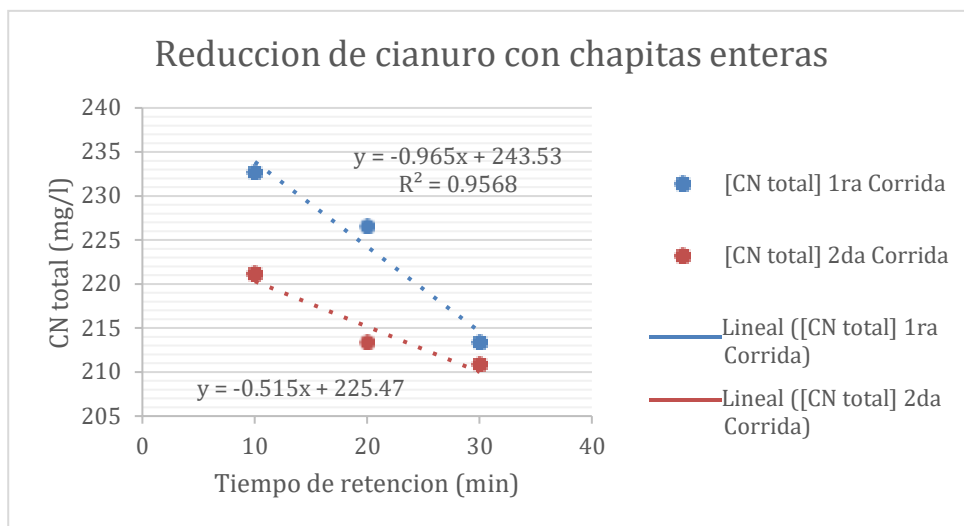
N°	Tiempo de retención (minutos)	Material de retención	[concentración de cianuro después del tratamiento] (mg/L)	
			primera corrida	segunda corrida
1	10	Chapa entera	232,7	220.9
2	10	Chapa molida	259,9	221.2
3	20	Chapa entera	226,6	215.2
4	20	Chapa molida	253,8	213.4
5	30	Chapa entera	213,4	207.3
6	30	Chapa molida	241,8	210.9

Fuente: elaboración propia, dato extraído del Informe de ensayo N°212618 / 213292 (Anexo N°7)

En la tabla 3 se refleja los resultados de concentración de cianuro total frente a todas las posibles combinaciones planteadas luego del tratamiento.

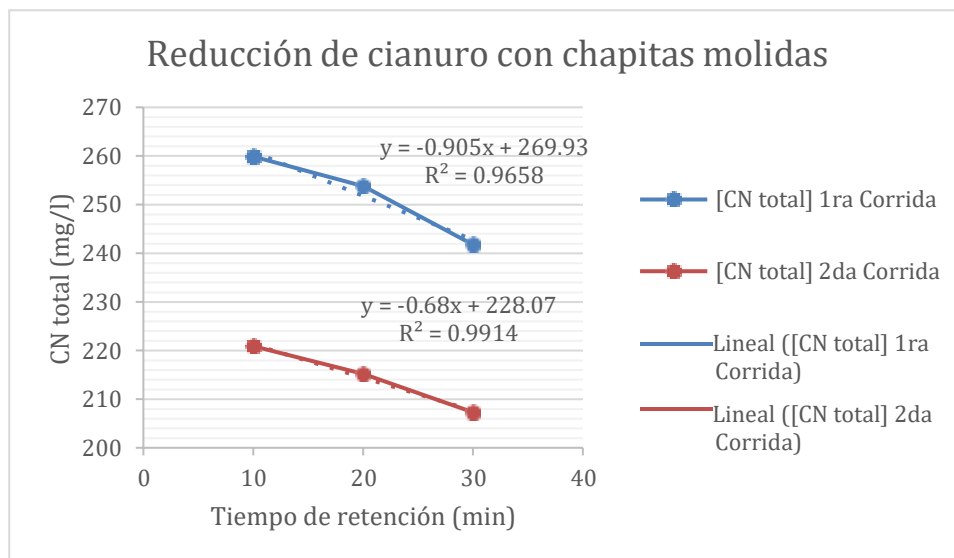
### 4.3. Ecuación de regresión y el porcentaje de variación (R2 ajustado)

Gráfico 1. Regresión lineal del tiempo con la reducción de cianuro



Fuente: Elaboración propia del autor

Gráfico 2. Regresión lineal del tiempo con la reducción de cianuro



Fuente: Elaboración propia del autor

Las ecuaciones anteriores indican la conducta del resultado frente a la variable tiempo de retención.

Se observa que el nivel de cianuro se reduce cuando la variable tiempo de retención aumentan.

#### 4.4. Resultado de reducción de cianuro total

Se calcula los rendimientos para las 6 pruebas experimentales.

Tabla 4. Resultado final de reducción de cianuro total – primera corrida

[CN <sup>-</sup> ]Total, inicial (mg/L)	Código	[CN <sup>-</sup> ]Total, final (mg/L)	Rendimiento (%)
318.5	CTCH10	232,7	26.94
	CTVI10	259,9	18.40
	CTCH20	226,6	28.85
	CTVI20	253,8	20.31
	CTCH30	213,4	33.00
	CTVI30	241,8	24.08

Fuente: elaboración propia, dato extraído del Informe de ensayo N°212469 / 212618 (Anexo N°7)

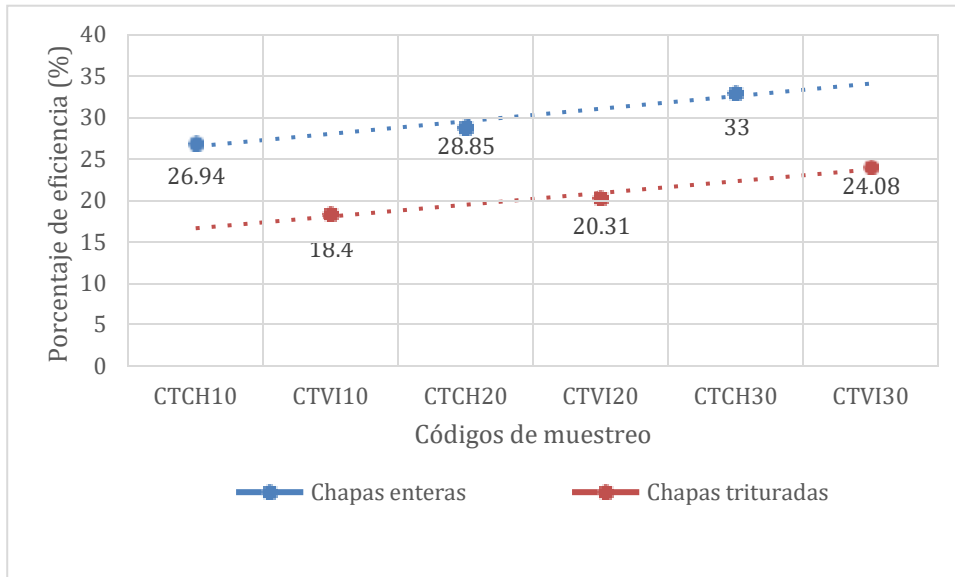
Tabla 5. Resultado final de reducción de cianuro total – segunda corrida

[CN <sup>-</sup> ]Total, inicial (mg/L) – PA-01	Código	[CN <sup>-</sup> ]Total, final (mg/L)	Rendimiento (%)
247.8	CTCH10	220.9	10.86
	CTVI10	221.2	10.73
	CTCH20	215.2	13.16
	CTVI20	213.14	13.99
	CTCH30	207.3	16.34
	CTVI30	210.9	14.89

Fuente: elaboración propia, dato extraído del Informe de ensayo N° 213292 (Anexo N°7)

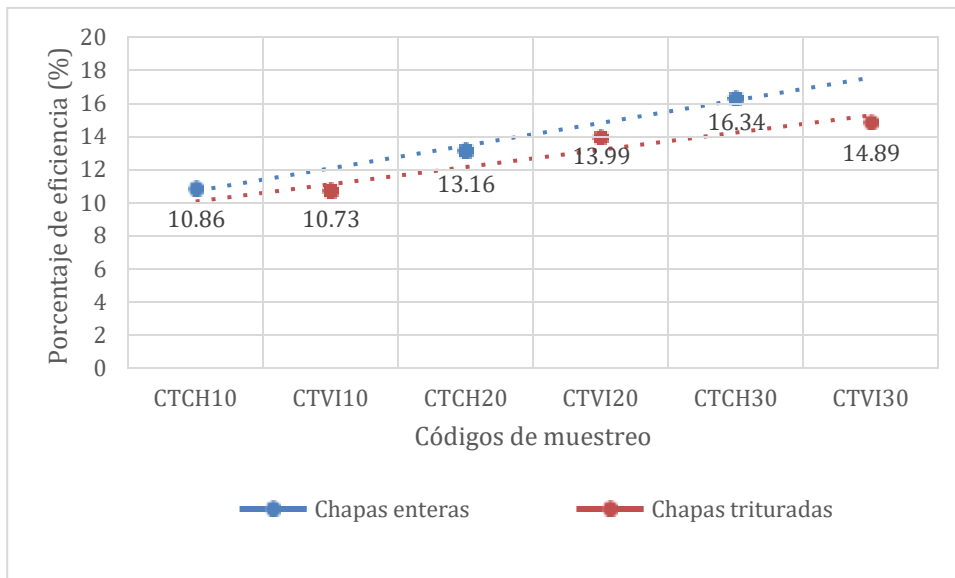
#### 4.6. Comparación entre materiales de reducción

Gráfico 3. Porcentaje de remoción en la primera corrida



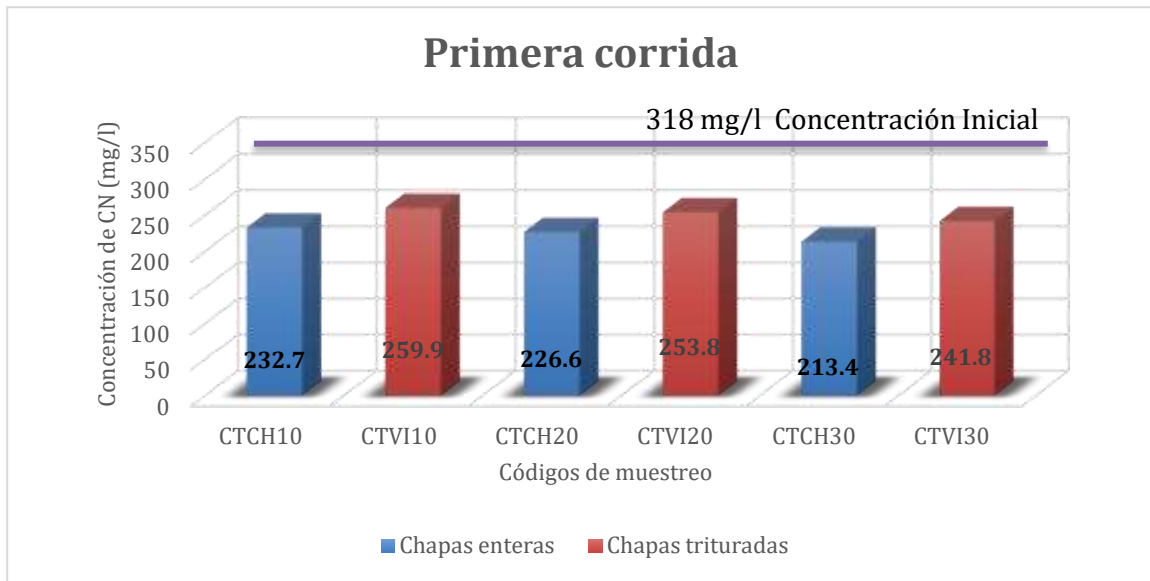
Fuente: elaboración propia de los autores

Gráfico 4. Porcentaje de remoción en la segunda corrida



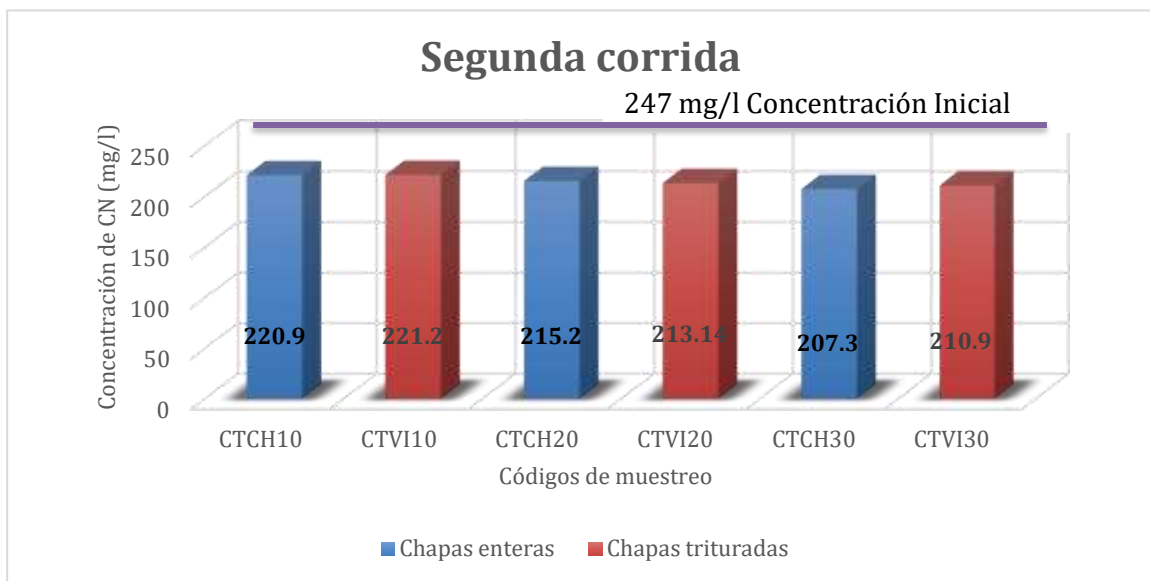
Fuente: elaboración propia de los autores

Gráfico 5. Combinadas de material de retención y concentración de cianuro reducido 1



Fuente: elaboración propia de los autores

Gráfico 6. Combinadas de material de retención y concentración de cianuro reducido 2



Fuente: elaboración propia de los autores



## VI. DISCUSION

De los resultados de los ensayos experimentales se determinaron que no obstante del tiempo de retención del ozono en la columna de agua para depurar al cianuro, los mejores rendimientos se dieron con las chapas de plástico enteras en la columna del reactor, siendo las eficiencias lo señalado en las tablas 4 y 5 logrando el mejor resultado a los 30 minutos con un rendimiento de 33% una eficiencia mayor que dos de los tres métodos mencionados por (MACHACA MACHACCA & YANA HANCCO, 2017) quien experimento con sistemas de tratamiento que utiliza la radiación solar; fotocátalisis de energía solar -UV- con oxidante sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ), con oxidante peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ); y con agente oxidante heterogénea mediante proceso de fotocátalisis radiación ultravioleta (UV) solar, peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) quien logro rendimientos de 85.28, 29.95 y 6.15 respectivamente. (SERQUÉN, 2020). También realizo un experimento para medir la eficiencia de la reducción de cianuro con ozono y cobre en efluentes mineros, luego del tratamiento con  $\text{O}_3$  y  $\text{Cu}^{+2}$  ( $\text{SO}_4 \text{ Cu} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) logra una eficiencia del 83,26 - 99,92%. manteniendo un pH alcalino de 10.30, esta investigación presenta ventaja en tema de eficiencia, sin embargo, al usar agentes adicionales al ozono, estos elevan el costo del tratamiento, lo cual puede tornarse inviable para algunas industrias, debido al costo y a la manipulación de químicos peligrosos.

En Contraste con lo realizado por (BASTANTE et al., 2018), en su investigación orientada a reducir el cianuro por medio de un mecanismo mixto electro ionización y osmosis inversa el autor logra una eficiencia de remoción de 99.95% la cual representa un logro significativo, sin embargo el efluente que usa tiene una concentración inicial de 23.45ppm o mg/l, valor que en contraste con los datos que obtuvieron en esta investigación dista bastante de los 318mg/l, en consecuencia se reafirmaría lo dicho por IBRAHIM,NABIL,SEIF-EDDEEN,WALEED, (2008), quien uso sulfato ferroso para convertir el cianuro en un complejo seguro y afirmó que el tiempo de tratamiento está condicionado a la concentración inicial de cianuro sugiriendo que la concentración y el tiempo

es directamente proporcional, bajo este principio se podría deducir que la eficiencia también está condicionada al tiempo de tratamiento, esta conclusión es reafirmada por Nava- Alonso et al (2013). Quien investigo la eliminación de cianuro con ozono y coincide en la conclusión que el tiempo de retención es condicional para una efectiva reducción del cianuro. Estas menciones concuerdan con lo demostrado por SANCHEZ, CARRILLO, FRAGA y SORIA, (2015), quien redujo 1200mg/l de cianuro en 3 horas usando ozono y el efecto sinérgico CAC (Carbón activado de coco) y (AQUILLA Y DAMIAN, 2019), quien experimento la reducción de cianuro por medio de peróxido de hidrógeno al 50% de efluente cianurado con una concentración inicial de 97 mg/l logrando resultados óptimos con tiempo de retención 240 minutos, sin embargo si lo que se quiere es aumentar la eficiencia manteniendo el mismo rango de tiempo, una alternativa seria aumentar la dosis de ozono de acuerdo a lo mencionado por DÍAZ Y OBLITAS, (2020), quien sugiere en su investigación que cuanto mayor es la dosis específica de ozono, mayor es la eficiencia de oxidación.

De los resultados de los ensayos se resuelve que el pH alcalino es determinante reafirmando lo dicho por (VARGAS OSPINA, 2016), quien señala que la condición ideal para una correcta reducción es mantener el pH mayor a 8, NAVA, ELORZA, URIBE y BARRIGA, (2013) en su investigación para la disminución de cianuro con ozono indica que si el pH es menor a 9.3 el ozono tomará tiempos demasiados largos o no se oxidara, pues el cianuro se hidroliza a ácido cianhídrico, para corroborar estas afirmaciones (CELSO, 2020) concluye después de haber experimentado la degradación de cianuro con ozono con tres valores de pH 9,0, 10,5 y 12,0 la combinación más eficiente fue la que mantuvo el pH a 10,5 con el cual se logró una remoción de 99,99% y un nivel de cianuro residual de 0,02 ppm. CARRILLO, F., F. NAVA, F. y URIBE, A., (2000), en su investigación cinética de reacción a través de la oxidación de cianuro por ozono dice que en soluciones alcalinas la oxidación del cianuro con el ozono es rápida. La oxidación del cianato por el ozono es una reacción lenta comparada con la del cianuro.

La presente experimentación puso en evidencia un aspecto que no fue considerado por los autores, al contrastar los resultados de la segunda corrida con la primera, descubrieron que la eficiencia se había reducido al 50%, para hallar el origen hicieron una revisión de las posibles causas y concluyeron que la causa más probable se deba a la reducción del caudal del efluente la cual también se redujo al 50% de 9 litros por corrida en la primera ronda a 4.5 litros en la segunda debido a que perdió gran parte de la muestra en el proceso de prueba. No habiendo premeditado que este cambio alteraría los datos de manera notoria y en vista que ningún autor experimenta ni menciona esta condición los investigadores afirman que el límite mínimo de caudal requerido para el reactor usado en esta investigación es de 9 litros y que, a partir de ello, la disminución de caudal será directamente proporcional a la eficiencia que puede tener el reactor respecto a la reducción de ozono, esta afirmación está sustentada más claramente en el gráfico 2 en el apartado de resultados, donde se puede ver que los valores de la primera y segunda corrida mantienen una misma tendencia pero a distintas concentraciones

respecto al requerimiento de ozono los autores usaron un generador eléctrico que mediante reacción electroquímica produce ozono obteniendo el oxidante de manera ilimitada y económica, en contraste con (BELTRAN DE HEREDIA, TORREGROSA, GARCÍA Y DOMÍNGUEZ, 2000), en su investigación para reducir la concentración de DQO, polifenoles totales y aromaticidad de las aguas residuales tratadas con ozono en almazara usan una botella a presión de oxígeno comercial, siendo este un recurso limitado y con alta huella de carbono por ser un recurso que usa balones intercambiables y transporte cada vez que se agote se vuelve cada vez menos económico y por ende, menos viable.

De la contrastación de los resultados con otras investigaciones similares; A la fecha y tomando de referencia los antecedentes de la presente investigación no se han encontrado evidencia bibliográfica que hayan desarrollado experimentos con materiales de reducción cinética, siendo esta investigación un aporte significativo para la ciencia y el sector de la industria galvánica, la presente investigación es innovadora porque aporta un nuevo sistema, basándose en lo

que menciona por (RODRIGUEZ et al., 2008), quien indica que el uso de procesos oxidativos avanzados: ( $H_2O_2$ ), ( $O_3$ ) y radiación ultravioleta (UV) para el tratamiento de aguas residuales de naturaleza recalcitrante. representa una oportunidad para incrementar el nivel de biodegradabilidad, Los estudiantes usan pues como agente reductor solo el ozono sin ningún otro insumo, el diseño permite, que al ser contracorriente la reacción sea de manera más homogénea y para garantizar ello usan un mecanismo de reducción cinética que permite que el ozono, pueda consumirse de manera casi total, esto debido a que el reductor cinético actúa como una barrera para poder aumentar el tiempo de reacción del ozono con el ion cianuro, quien por ser un gas volátil, tiende a subir, y el efluente al ser el reactor un sistema contracorriente, baja por acción de la gravedad, en el choque, el reductor cinético hace que el reacción sea más prolongado y por ende, la oxidación sea más eficiente, el sistema también permite mantener estable la temperatura por periodos prolongados, pues en 30 minutos de funcionamiento no presenta variaciones considerables alineándose así a los dicho por NAVA, ELORZA, URIBE y BARRIGA, (2013), quien realizo la disminución de cianuro por medio de ozono y mencionó que En el entre 15 a 40°C de temperatura, la velocidad de oxidación no se ve afectado.

## VII. CONCLUSIONES

Se determinó que, en efecto, la ozonificación si influye en la reducción de cianuro dado a su gran poder oxidativo, es a causa de ello que se evidencia considerables variaciones de concentración de cianuro total al final de tratamiento experimental.

En consecuencia, con lo señalado anteriormente, los investigadores encontraron que la concentración de cianuro total oxidado con el reductor cinético de chapas enteras se logra de manera lineal y progresiva (26.94%, 28.85% y 33%) y mantiene una tendencia favorable y evidenciando que el tiempo es un factor determinante debido a que en 30 minutos reduce el mayor porcentaje, 33%, demostrando que, a mayor tiempo, mejor es la reducción, de la misma manera la segunda corrida afianza el resultado pues se logra la mejor eficiencia a los 30 minutos.

Se determinó también que la concentración de cianuro total oxidado con el reductor cinético de chapas trituradas se logra de manera lineal y progresiva, aunque en esta ocasión en menor proporción (18.40%, 20.31% y 24.08%), manteniendo también una tendencia favorable y puso en evidencia nuevamente que el tiempo es un factor determinante, debido a que en 30 minutos redujo el mayor porcentaje 24.08% del mismo modo la segunda corrida logra el mejor resultado en los 30 minutos.

Se concluye mediante la experimentación que el sistema más eficiente para realizar la ozonificación con el objeto de reducir la concentración de cianuro total en el módulo contracorriente es el realizado con el reductor cinético compuesto por las chapas enteras, contrastando entonces que el 33% que obtuvo es superior al 24.08% logrado con las chapas trituradas, resultados que obtuvieron en el lapso de 30 minutos poniendo en evidencia que el sistema con chapas enteras es 27% más eficiente respecto al de chapas molidas.

En contraste con los resultados, los autores consideran que el pH es un factor imprescindible a controlar y que sin embargo en el proceso se mantuvo relativamente constante (pH promedio de 12), también afirmaron que la

temperatura no presento variaciones considerables y que este no afecto el proceso siendo el promedio (18 °C), la velocidad de reacción está condicionada a un caudal no menor a 9 litros de muestra pues a partir de ello la eficiencia se reduce en relación directamente proporcional al caudal, respecto al tiempo concluyeron que a mayor tiempo de retención o tratamiento se reduce mayor cantidad de cianuro.

## VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda añadir al sistema un agitador que homogenice el efluente que esta recircula en el sistema.

Se recomienda trabajar con tiempos de reducción mayores a 30 min o experimentar con una inyección de ozono mayor a 16.6 mg/min

Se recomienda mantener un flujo constante de muestra mayor a 9 litros bajo las condiciones estrictamente mencionadas en este proyecto

## REFERENCIAS

AQUILLA ARÉVALO, Mario, DAMIÁN VÉLEZ, Clara, 2019. Reducción de cianuro de agua residual proveniente de una empresa metalúrgica por tratamiento oxidativo con peróxido de hidrogeno [ en línea]. Trabajo de titulación (Ingeniero Químico). Cuenca, Ecuador. Universidad de Cuenca [consulta: abril de 2021]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33590>

BASTANTE TRIBEÑO, Miguel y GUTIERREZ PALOMINO, David, 2018. *Reducción de concentración de cianuro mediante un sistema combinado de osmosis inversa - electro ionización en aguas residuales de la industria galvánica* [en línea]. Trabajo de titulación (Ingeniero Químico). Callao, Perú. Universidad Nacional del Callao [consulta: mayo de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/3878>.

BELTRAN DE HEREDIA, Jesús; TORREGROSA, Joaquín; GARCÍA, Juan y DOMINGUEZ, Joaquín, 2000. Tratamiento con ozono de las aguas residuales de almazara. Volumen 51, N°5, pp.301-306 [junio 2021], disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/J-Beltran-3/publication/26523699\\_Tratamiento\\_con\\_ozono\\_de\\_las\\_aguas\\_residuales\\_de\\_almazara/links/0fcfd50f2d442a2149000000/Tratamiento-con-ozono-de-las-aguas-residuales-de-almazara.pdf](https://www.researchgate.net/profile/J-Beltran-3/publication/26523699_Tratamiento_con_ozono_de_las_aguas_residuales_de_almazara/links/0fcfd50f2d442a2149000000/Tratamiento-con-ozono-de-las-aguas-residuales-de-almazara.pdf)

BRESCHI, A, 2011. Propuesta de alternativas de mejora al tratamiento actual de los efluentes generados en el área de galvanoplastia para la empresa Bermúdez Industria electrometalurgia C.A. [en línea]. Trabajo especial de grado (Ingeniera Química). Valencia, España. Universidad de Carabobo [consulta: junio de 2021]. Disponible en: <http://riuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/123456789/5011/1/rbreschi.pdf>

CARRILLO, F., F. NAVA, F. y URIBE, A.2000 Oxidación de cianuro por ozono en relaves de cianuración: Cinética de la reacción En: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P. N, México [en línea]. Disponible en:



[file:///C:/Users/User/Downloads/Cyanide\\_oxidation\\_by\\_ozone\\_in\\_cyanidation\\_tailings%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Cyanide_oxidation_by_ozone_in_cyanidation_tailings%20(1).pdf)

CELSO NAZARIO PURIHUAMÁN, Leonardo, 2020. Efecto del PH y concentración de iones cobre en la degradación del cianuro por ozonización [en línea]. Trabajo de titulación (Ingeniero de Procesos Industriales). Lambayeque, Perú. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo [consulta: junio de 2021]. Disponible en: [https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8872/Purihuam%C3%A1n\\_Leonardo\\_Celso\\_Nazario.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8872/Purihuam%C3%A1n_Leonardo_Celso_Nazario.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CHÁVEZ, Álvaro, CRISTANCHO, Diana, OSPINA, Edgar, 2019. Una alternativa limpia para el tratamiento de las aguas galvánicas: revisión bibliográfica. *Revista ingenierías Universidad de Medellín*, Medellín, volumen 8, N°14, 39-50 [05 de mayo 2021], <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/37>.

CORREA MARÍN, Haydi, NEYRA MEDINA, Pedro, 2019. *Cinética de oxidación del cianuro libre en agua por aplicación de ozono* [en línea]. Trabajo de titulación (Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos). Cajamarca, Perú. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo [consulta: abril de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/967>

DIAZ RUIZ, Ricardo y OBLITAS CRUZ, Jimy, 2020. Remoción de cianuros WAD en un proceso de oxidación de flujos mineros usando ozono y control de pH. En: Universidad Privada del Norte, Perú [en línea]. Disponible en: [file:///C:/Users/User/Downloads/82-Texto%20del%20art%C3%ADculo-357-1-10-20210216%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/82-Texto%20del%20art%C3%ADculo-357-1-10-20210216%20(6).pdf) [consulta: mayo de 2021].

GARCIA, Guillermo, 2014. *Caracterización y propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la industria de galvanizado de lámina por inmersión en caliente* [en línea]. Trabajo de titulación de maestría (Maestría en Ingeniería Sanitaria). Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala [consulta: junio de 2021]. Disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0375\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0375_MT.pdf)

GAVIRIA C., ANA C.; MEZA S., LUIS A. 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 Dyna, vol. 73, núm. 149, julio, 2006, pp. 33. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49614904.pdf>

Guerrero, J.2006, Cianuro: Toxicidad y Destrucción Biológica, Perú, Revista, El ingeniero de Minas, 10(35), p.22-25. Disponible en: [https://es.slideshare.net/bioperujgr/cianuro-toxicidad-y-destruccion-biologica#:~:text=El%20cianuro%20es%20un%20qu%C3%ADmico,metales%20preciosos%2C%20espec%C3%ADficamente%20el%20oro.&text=La%20toxicidad%20de%20depende%20de,compleja%20\(acuoso%20o%20s%C3%B3lido\) .](https://es.slideshare.net/bioperujgr/cianuro-toxicidad-y-destruccion-biologica#:~:text=El%20cianuro%20es%20un%20qu%C3%ADmico,metales%20preciosos%2C%20espec%C3%ADficamente%20el%20oro.&text=La%20toxicidad%20de%20depende%20de,compleja%20(acuoso%20o%20s%C3%B3lido) .)

HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNANDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, María del Pilar, 2010. [Metodología de la investigación. Quinta edición. México](#): Interamericana editores SA. ISBN: 978-607-15-0291-9.

IBRAHIM Ismail, NABIL Abdel-Monem, SEIF-EDDEEN Fateen\*, WALEED Abdelazeem,2008. Tratamiento de una solución sintética de efluentes de galvanización mediante la conversión de cianuro de sodio en un complejo insoluble seguro. En: Department of Chemical Engineering, Cairo University, Giza, EGIPTO [en línea]. Disponible en: [file:///C:/Users/User/Downloads/Treatment\\_of\\_a\\_synthetic\\_solution\\_of\\_galvanization-articulo.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Treatment_of_a_synthetic_solution_of_galvanization-articulo.pdf)

ISMAEL, I., ABDEL-MONEM, N. & FATEEN, S., 2008. “*Treatment of a synthetic solution of galvanization effluent via the conversion of sodium cyanide into an insoluble safe complex*”. Elsevier BV. Egipto: Universidad de Ciencia y Tecnología de Zewail, 978-983. doi: 10.1016 / j. jhazmat.2008.12.005.

Jaszczak, E., Polkowska, Ż., Narkowicz, S., & Namieśnik, J. (2017). Cyanides in the environment—analysis—problems and challenges. Environmental Science

Pollut,

1593015933.Disponible:

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11356-017-9081-7.pdf>

MACHACA MACHACCA, David, YANA HANCCO, Pedro, 2017. *Remoción de cianuro de aguas residuales mineros metalúrgicos por proceso de oxidación avanzada y fotocátalisis solar* [en línea]. Trabajo de titulación (Ingeniero Químico). Puno, Perú. Universidad Nacional del Altiplano [consulta: abril de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8803>

MORAIS, Leonardo; VILELA, Débora; CARNEIRO, Ismael y GOMES, Lindomar, 2009. *Advanced Technologies Based on ozonation for wáter Treatment*. Editors: N. Gertsen and L. Sonderby, pp. Nova Science Publishers, Inc. ISBN 978-1-60741-599-2.

MORILLAS, Antonio, 2007. Muestreo en poblaciones finitas. [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/IN3401/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=280296](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/IN3401/1/material_docente/bajar?id_material=280296)

NAVARRO, Enrique, 2008. *Diseño de una planta depuradora de efluentes con alto contenido metálico para una empresa de galvanizados* [en línea]. Trabajo de titulación (Ingeniero Químico). Cádiz, España. Universidad de Cádiz [consulta: junio del 2021]. Disponible en: <https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/6442/34210787.pdf?sequence=1>

NAVA ALONSO, Fabiola, ELORZA RODRIGUEZ, Enrique, URIBE SALAS, Alejandro, BARRIGA ORDOÑEZ, Francisco, 2013. *Eliminación de cianuro por oxidación con ozono – Experiencia del Cinvestav*. En: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, México [en línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/25812334/ELIMINACI%C3%93N\\_DE\\_CIANURO\\_POR\\_OXIDACI%C3%93N\\_CON\\_OZONO\\_EXPERIENCIA\\_DEL\\_CINVESTAV\\_CYANI\\_DE\\_DESTRUCTION\\_BY\\_OZONE\\_OXIDATION\\_CINVESTAV\\_EXPERIENCE](https://www.academia.edu/25812334/ELIMINACI%C3%93N_DE_CIANURO_POR_OXIDACI%C3%93N_CON_OZONO_EXPERIENCIA_DEL_CINVESTAV_CYANI_DE_DESTRUCTION_BY_OZONE_OXIDATION_CINVESTAV_EXPERIENCE) [consulta: abril de 2021].

LARIOS, J.F., GONZALES, C., MORALES, Y., 2015." Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú". *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*. Perú: Universidad San Ignacio de Loyola, volumen 2, numero 2, pp.09-25 [03 de junio 2021], <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>

LODOLO, Andrea; CORTESI, Ángelo y CASANOVA, Marzia, 2010. [Depurazione delle acque nell'industria galvanica](#). Ediciones EUT Universidad de Trieste. ISBN 978-88-8303-265-3.

LOGSDON Mark J., HAGELSTEIN Karen y MUDDER Terry I. El manejo del cianuro en la extracción de oro consejo internacional de metales y medio ambiente de Oro. En su: The International Council on Metals and the Environment primera impresión de la publicación en español. Ottawa, Ontario: ICME, 2001.pp 10-11.  
ISBN 1-895720-35-4

LOPEZ - CEPERO GONZALES, Adrián, 2011. Diseño de un proceso de ozonificación por inyección Venturi para la eliminación de pesticidas presentes en un afluente a una estación de tratamiento de agua potable. [En línea] España, septiembre 2011, Disponible en: <https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/14947/b35632082.pdf;sequence=1>

LOPEZ, Pedro, 2004. [Población muestra y muestreo](#). *Punto cero* [en línea]. Cochabamba, V.09, n.08, 69-74 [consulta: mayo del 2021]. ISSN. 1815-0276.

PÉREZ, R. 2019: Los Cianuros como veneno en la Toxicología Forense. España, Revista, Gac. int. cienc. Forense ISSN 2174-9019, (33) p.52-55  
[https://www.uv.es/gicf/3R3\\_Perez\\_GICF\\_33.pdf](https://www.uv.es/gicf/3R3_Perez_GICF_33.pdf)

PORTAL WEB SINIA. proporción de aguas tratadas por EPS [en línea] Lima 2018 [fecha de consulta 20 de junio de 2021] disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/tematicas?tematica=01>

PRADOS, Gonzalo, 2010. [Tratamiento de aguas para la eliminación de antibióticos-nitroimidazoles- mediante adsorción sobre carbón activado y tecnologías avanzadas de oxidación](#). Granada: Editorial de la Universidad de Granada. ISBN: 978-84-693-0696-3

RAMÍREZ, A. (2010). Toxicidad del cianuro. Investigación Bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre. An. Fac. med., 72(1), pp.54. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37919769011>

RODRIGUEZ, Diego J.; Serrano, Héctor Alexander; Delgado, Anna; Nolasco, Daniel; Saltiel, Gustavo. 2020. De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe. World Bank, Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33436/146823SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y> License: CC BY 3.0 IGO

RODRIGUEZ, Francisco. Procesos de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonización [en línea] España: Ediciones Díaz de Santos, 2015. [Fecha de consulta: 05 de abril 2021]. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=xD-ICgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=xD-ICgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false) ISBN:978-84-9052-010-9

RODRIGUEZ, Mayra y BARRERA, Carlos. Procesos de oxidación avanzada en el tratamiento de agua [en línea]. México: Universidad Autónoma del Estado de México Instituto Literario núm. 100 Ote., 2020. pp 168 [Fecha de consulta: mayo 2021]. Disponible en: [http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos\\_Oxidacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos_Oxidacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y) ISBN 978-607-633-188-0

RODRIGUEZ, Tatiana; BOTELHO, Diego; y CIETO, Eduardo, 2008. Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrogeno y radiación ultravioleta. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia* N°46, pp. 24-38

[junio del 2021],  
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/17926/15395>

SACHER, William, 2010. *Cianuro, la cara toxica del oro*. Observatorio de. Ecuador. Conflictos Mineros de América Latina OCMAL  
<https://es.slideshare.net/aguavivarionegro/cianuro-la-cara-txica-del-oro>

SANCHEZ-CASTILLO, Marco; CARRILLO-PEDROZA, Francisco; FRAGA-TOVAR, Flor y SORIA-AGUILAR, De Jesús, 2015. Ozonation of Cyanide Catalyzed by Activated Carbon. *La revista de la asociación internacional del ozono* [en línea] Inglaterra: Taylor & Francis, 3, 3, 240-251[consulta: mayo de 2021]. DOI, disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/01919512.2014.965804>

SAUPE, G.B, ZHAO, Y., BANG, J., YESU, NR, ORDOÑEZ, R., YESU, G.A., CARBALO, R., BUBPHAMALA, T., 2005. Saupe, Y. Zhao, J. Bang, N. Yesu, G. Carballo, R. Ordoñez, T. Bubphamala. "Evaluación de un nuevo oxido mixto de titanio y niobio poroso para la descontaminación de agua foto catalítica". *ScienceDirect*. El paso, Texas: Universidad de Texas, volumen 81, número 1, paginas 156-162 [05 de mayo 2021], <https://doi.org/10.1016/j.microc.2005.01.002> .

SERQUÉN ESQUÉN, Yajaira, 2020. *Influencia del ozono y cobre en la degradación del cianuro de los efluentes mineros* [en línea]. Trabajo de titulación (Ingeniero Químico). Lambayeque, Perú. Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo" [consulta: mayo de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8407>

SILVESTRE MIRA, María, 2015. Detoxificación de aguas residuales provenientes de plantas metalúrgicas [en línea]. Tesis doctoral. Valencia, España. Universidad Politécnica Superior de Valencia [consulta: mayo de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/58988>

THE WORLD BANK. Wastewater A Resource that Can Pay Dividends for People, the Environment, and Economies, Says World Bank [en línea]. Washington 19 de marzo 2020 [fecha de consulta 20 de junio de 2021]. disponible en:

<https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>

VARGAS, Andrea; CUESTA, Diana, 2009. Efecto de las variables de oxidación de cianuro con luz ultravioleta usando TiO<sub>2</sub> como catalizador. *Umbral Científico*. Universidad Manuela Beltrán. Bogotá, Colombia, número 15, pp. 75-80 [Fecha de consulta: 06 de junio 2021], <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30415144009>

VARGAS OSPINA, Jorge Enrique, 2016. *Determinación de la mejor práctica industrial en el tratamiento de aguas cianuradas y propuesta de optimización* [en línea]. Trabajo de Maestría (En ingeniería). Medellín, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana [consulta: abril de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.1...>

WEBER, Walter. Control de la calidad del agua procesos fisicoquímicos [en línea]. Barcelona: Editorial Reverte, S.A., 1979. [Fecha de consulta: 04 de abril 2021]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=S9MfEAAAQBAJ&pg=PA464&dq=calidad+fisicoquimica+del+ozono&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiMqgmQs7DwAhWcrZUCHbezDz8Q6AEwAXoECAYQAg#v=onepage&q=calidad%20fisicoquimica%20del%20ozono&f=false> ISBN 978-84-291-9199-8

YOUNG, C.A., T.S, Jordan, 1995. Cyanide remediation: Current and pasta technologies, Department of Metallurgical Engineering. [consulta: mayo de 2021]. Disponible en: <https://engg.ksu.edu/HSRC/95Proceed/young.pdf>



# ANEXOS


## ANEXO 1: Matriz de operacionalización de variables

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
¿Cómo la ozonificación influye en la reducción de cianuro en los efluentes de la industria galvánica?	Determinar si la ozonificación influye en la reducción de cianuro en los efluentes de la industria galvánica	VI: Ozonificación	La descomposición del ozono en medio acuoso produce oxígeno y una gran variedad de especies iónicas y radicales que a su vez pueden oxidar a los compuestos químicos en disolución, una de las especies que se genera es el radical hidroxilo una especie de gran poder oxidante. Por tanto, las dos vías de reacción ozono con los contaminantes son: i) mediante reacción directa del sustrato ozono molecular, la cual es selectiva pero lenta o nula con algunas especies y ii) mediante descomposición y generación de hidroxilos, que atacan al sustrato de forma rápida, esta descomposición se encuentra favorecida en medio básico. (PRADOS, 2010, pp.60-62)	El generador de ozono en el sistema contra contracorriente inyecta ozono a un flujo de 12 l/min. Este generador es conectado a un módulo o de volumen de y litros. El sistema es retroalimentado por efluente tratado. En el reactor se coloca chapas como material de retención. (autores)	Condiciones de adición de ozonificación	Caudal del gas	L/min
					Condiciones del módulo de ozonificación (Características del equipo)	Caudal del sistema (ingreso-salida)	L/min
						Volumen del reactor	A*H = Vr L
						Peso de material de retención	gr
<b>PROBLEMA ESPECIFICO</b>							
¿Cuál es la concentración de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas enteras como reductor cinético?	Determinar la concentración de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas enteras como reductor cinético	VD: reducción de concentración de cianuro.	Para la reducción de cianuros, los parámetros para el funcionamiento del proceso son la relación O3/CN <sup>-</sup> , el pH y el tiempo de reacción. La eficacia de la eliminación operando en condiciones de altas concentraciones de ozono y favoreciendo la formación de pequeñas burbujas, que aseguran un mayor rendimiento con el mismo volumen de gas introducido. La oxidación de los cianuros libres o de los complejos metal-cianuro débiles de Cd, Cu, Ni, Ag y Zn (WAD) por ozonización requiere condiciones alcalinas (pH 9-11). El proceso tiene lugar en dos pasos distintos: en el primer paso los cianuros son se oxida a cianatos, en el segundo los cianatos se hidrolizan generando bicarbonato y el nitrógeno. La primera fase de la oxidación del cianuro tiene lugar en 10-15 minutos, en condiciones de exceso de ozono y en un ambiente alcalino con valores de pH en el rango 9-10, dependiendo de la reacción. La segunda etapa de hidrólisis de los cianatos tiene lugar en condiciones de exceso de ozono; el cianato se hidroliza en bicarbonato y gas nitrógeno. Esta segunda reacción tiene lugar mucho más lentamente que la que rige la formación del cianato y suele llevarse a cabo con valores de pH entre 10 y 12, rango dentro del cual la velocidad de reacción es casi constante. (LODOLO, CORTESI Y CASANOVA, 2010)	Para determinar la reducción de cianuro después del tratamiento se analizará la concentración del contaminante a la salida del sistema. Asimismo para una adecuada reducción se considero trabajar a un pH básico, tiempos de reacción variables en consideración de un tiempo referencial de nuestros antecedentes y en referencia a ello determinamos la velocidad de reacción, el cual se elegirá el de menor velocidad cinética de reacción. (Autores)	Concentración de cianuro reducido con chapas enteras	Concentración de cianuro A - Concentración de cianuro B	CC: mg/L
¿Cuál es la concentración de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas molidas como reductor cinético?	Determinar la concentración de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas molidas como reductor cinético				Concentración de cianuro reducido chapas molidas	Concentración de cianuro A - Concentración de cianuro B	CC: mg/L
¿Cuál es la eficiencia de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas molidas vs chapas enteras como reductor cinético?	Determinar la eficiencia de cianuro reducido mediante tratamiento de ozonificación usando el sistema a contracorriente y chapas enteras como reductor cinético				Eficiencia	Concentración de cianuro A- Concentración de cianuro B / Concentración de cianuro A*100	%
¿Cómo las condiciones de tratamiento de ozonificación influyen en la reducción de la concentración de cianuro proveniente de la industria galvánica?	Analizar las condiciones de tratamiento que influye en la reducción de la concentración de cianuro proveniente de la industria galvánica				Condiciones de tratamiento	Tiempo de reacción	10, 20 y 30 min
			Potencial de hidrogeno alcalino	pH> 9.3			
			Velocidad de reacción	l/min			
			Temperatura	15-40°C			





## ANEXO 4: Resultados de análisis de los parámetros concentración de cianuro reducido

	Ozonificación de los efluentes de la industria galvánica para la reducción de concentración de cianuro en el distrito de Puente Piedra - Lima.				formato N°1
	formato de recolección de datos				
fecha	13/05/2021				
<b>Información General</b>					
Facultad	Ingeniería y arquitectura				
Escuela	Ingeniería Ambiental				
Participantes	Bonilla Chavez, Eloy / Perez Lescano, Ricardo.				
<b>Datos Generales</b>					
Caudal del Generador de O3	16.6mg/min				
Volumen del Reactor	16.72 Lt				
caudal de la bomba de agua	12 L/min				
peso de tapas PET enteras	2kg				
pero de material PET trituradas	2 kg				
<b>Información del proceso</b>					
codigo de muestra	tiempo de tratamiento (m)	concentracion de Cianuro Total (mg/L)	Ph	temperatura (°C)	caudal dl sistema(L/m)
PA-01	0	318	12.3	20.2	0
CTCH10	10	232.7	12.26	20.5	5.9
CTCH20	20	226.6	12.25	20.7	5.9
CTCH30	30	213.4	12.25	20.8	5.9
CTVI10	10	259.9	12.28	20.7	4.5
CTVI20	20	253.8	12.27	20.7	4.5
CTVI30	30	241.8	12.25	20.9	4.5
PA-01:	Muestra base				
CTCH:	Muestra Con Sistema de reducción cinética de tapas PET Enteras				
CTVI:	Muestra Con Sistema de reducción cinética de tapas PET trituradas				



Ozonificación de los efluentes de la industria galvánica  
para la reducción de concentración de cianuro en el  
distrito de Puente Piedra - Lima.

formato N°1

formato de recolección de datos

fecha 13/05/2021

Información General

Facultad	Ingeniería y arquitectura
Escuela	Ingeniería Ambiental
Participantes	Bonilla Chavez, Eloy / Perez Lescano, Ricardo.

Datos Generales

Caudal del Generador de O3	16.6mg/min
Volumen del Reactor	16.72 Lt
caudal de la bomba de agua	12 L/min
peso de tapas PET enteras	2kg
pero de material PET trituradas	2 kg

Información del proceso

codigo de muestra	tiempo de tratamiento (m)	concentracion de Cianuro Total (mg/L)	Ph	temperatura (°C)	caudal dl sistema(L/m)
PA-01	0	247.8	12.27	18.1	0
CTCH10	10	220.9	12.23	18.4	3.5
CTCH20	20	215.2	12.23	18.5	3.5
CTCH30	30	207.3	12.22	18.7	3.5
CTVI10	10	221.2	12.25	18.4	2.9
CTVI20	20	213.4	12.26	18.6	2.9
CTVI30	30	210.9	12.26	18.7	2.9

- PA-01: Muestra base  
CTCH: Muestra Con Sistema de reducción cinética de tapas PET Enteras  
CTVI: Muestra Con Sistema de reducción cinética de tapas PET trituradas

# ANEXO 5: Cadena de custodia

**envirotest** S.A.C. Nº 838721

**CADENA DE CUSTODIA**

Agua  M.S.  CA  S.O.  Ent.  Otro  I.E. N.º: 213292 Pag. 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE						Muestreo	Envío	M.S.	CA	S.O.	Ent.	Otro																																																																																									
Envío	Envío	Envío	Envío	Envío	Envío																																																																																																
<b>ENVIAR INFORME DE RESULTADOS A:</b>						Muestreo	Envío	M.S.	CA	S.O.	Ent.	Otro																																																																																									
NOMBRE SOCIO: Eloy Bonilla Chavez																																																																																																					
DIRECCIÓN: Jr. Puntavieja # 7961 Urb. Arroyo Los Olivos																																																																																																					
TELÉFONO: 972953193 Correo: elaybonilla@gmail.com																																																																																																					
CONTACTO: Eloy Bonilla Chavez (Contacto en el) 1328 1805-21																																																																																																					
OTRO CONTACTO: (Contacto en el) 1328 1805-21																																																																																																					
<b>ENVIAR FACTURA A:</b>						Muestreo	Envío	M.S.	CA	S.O.	Ent.	Otro																																																																																									
RAZÓN SOCIAL:																																																																																																					
RUC:																																																																																																					
DIRECCIÓN:																																																																																																					
NOMBRE DEL PROYECTO: Reactor de Ozonización a contracorriente con reactor cinético.																																																																																																					
PROCESOS: Industria Edilizia																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N.º de muestra</th> <th>Etiqueta de Cliente</th> <th>Fecha (dd-mm)</th> <th>Hora (hh:mm)</th> <th>Muestro o Producto</th> <th>Ubicación UTM</th> <th>Envío</th> <th>M.S.</th> <th>CA</th> <th>S.O.</th> <th>Ent.</th> <th>Otro</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PA-01</td> <td>5-6-21</td> <td>17:30</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CTV10</td> <td>5-6-21</td> <td>19:00</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CTV20</td> <td>5-6-21</td> <td>19:10</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CTV30</td> <td>5-6-21</td> <td>19:20</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CTCH10</td> <td>5-6-21</td> <td>20:45</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CTCH20</td> <td>5-6-21</td> <td>20:55</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CTCH30</td> <td>5-6-21</td> <td>21:05</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						N.º de muestra	Etiqueta de Cliente	Fecha (dd-mm)	Hora (hh:mm)	Muestro o Producto	Ubicación UTM	Envío	M.S.	CA	S.O.	Ent.	Otro	PA-01	5-6-21	17:30	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					CTV10	5-6-21	19:00	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					CTV20	5-6-21	19:10	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					CTV30	5-6-21	19:20	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					CTCH10	5-6-21	20:45	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					CTCH20	5-6-21	20:55	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					CTCH30	5-6-21	21:05	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
N.º de muestra	Etiqueta de Cliente	Fecha (dd-mm)	Hora (hh:mm)	Muestro o Producto	Ubicación UTM	Envío	M.S.	CA	S.O.	Ent.	Otro																																																																																										
PA-01	5-6-21	17:30	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
CTV10	5-6-21	19:00	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
CTV20	5-6-21	19:10	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
CTV30	5-6-21	19:20	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
CTCH10	5-6-21	20:45	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
CTCH20	5-6-21	20:55	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
CTCH30	5-6-21	21:05	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
Indicar con una (X) en los recuadros inferiores, los análisis requeridos por cada muestra																																																																																																					
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <b>ENVIROTEST S.A.C.</b>              07 JUN 2021  <b>RECIBIDO</b>              LA RECEPCIÓN NO IMPLICA CONFORMIDAD           </div>																																																																																																					
<p><small>Envirotest S.A.C. RUC: 2052310590, Calle B M. C. 4to. 41 Urb. Puntavieja Lina 31 (Perú), Central Telefónica (511) 522-3758 / 533-1828, RUC 869114848. E-mail: info@envirotest.com.pe / www.envirotest.com.pe</small></p>																																																																																																					

ADQUIRENTE o USUARIO

**envirotest** S.A.C. Nº 837841

**CADENA DE CUSTODIA**

Agua  M.S.  CA  S.O.  Ent.  Otro  I.E. N.º: 212618 Pag. 1 de 1

DATOS DEL CLIENTE						Muestreo	Envío	M.S.	CA	S.O.	Ent.	Otro																																																																																									
Envío	Envío	Envío	Envío	Envío	Envío																																																																																																
<b>ENVIAR INFORME DE RESULTADOS A:</b>						Muestreo	Envío	M.S.	CA	S.O.	Ent.	Otro																																																																																									
NOMBRE SOCIO: Eloy Bonilla Chavez																																																																																																					
DIRECCIÓN: Jr. Puntavieja # 7961 Urb. Arroyo Los Olivos																																																																																																					
TELÉFONO: 972953193 Correo: elaybonilla@gmail.com																																																																																																					
CONTACTO: Eloy Bonilla Chavez (Contacto en el) 1328 2105																																																																																																					
OTRO CONTACTO: (Contacto en el) 1328 2105																																																																																																					
<b>ENVIAR FACTURA A:</b>						Muestreo	Envío	M.S.	CA	S.O.	Ent.	Otro																																																																																									
RAZÓN SOCIAL:																																																																																																					
RUC:																																																																																																					
DIRECCIÓN:																																																																																																					
NOMBRE DEL PROYECTO: Reactor de Ozonización a contracorriente con reactor cinético.																																																																																																					
PROCESOS: Industria Edilizia																																																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N.º de muestra</th> <th>Etiqueta de Cliente</th> <th>Fecha (dd-mm)</th> <th>Hora (hh:mm)</th> <th>Muestro o Producto</th> <th>Ubicación UTM</th> <th>Envío</th> <th>M.S.</th> <th>CA</th> <th>S.O.</th> <th>Ent.</th> <th>Otro</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CTCH10</td> <td>13-05-21</td> <td>8:40</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CTCH20</td> <td>13-05-21</td> <td>8:50</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CTCH30</td> <td>13-05-21</td> <td>9:00</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CTV10</td> <td>13-05-21</td> <td>9:40</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CTV20</td> <td>13-05-21</td> <td>9:50</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CTV30</td> <td>13-05-21</td> <td>10:00</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MROI</td> <td>13-05-21</td> <td>10:50</td> <td>ARI</td> <td>274158.88 E 8679716.62 N</td> <td></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						N.º de muestra	Etiqueta de Cliente	Fecha (dd-mm)	Hora (hh:mm)	Muestro o Producto	Ubicación UTM	Envío	M.S.	CA	S.O.	Ent.	Otro	CTCH10	13-05-21	8:40	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					CTCH20	13-05-21	8:50	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					CTCH30	13-05-21	9:00	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					CTV10	13-05-21	9:40	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					CTV20	13-05-21	9:50	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					CTV30	13-05-21	10:00	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					MROI	13-05-21	10:50	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
N.º de muestra	Etiqueta de Cliente	Fecha (dd-mm)	Hora (hh:mm)	Muestro o Producto	Ubicación UTM	Envío	M.S.	CA	S.O.	Ent.	Otro																																																																																										
CTCH10	13-05-21	8:40	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
CTCH20	13-05-21	8:50	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
CTCH30	13-05-21	9:00	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
CTV10	13-05-21	9:40	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
CTV20	13-05-21	9:50	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
CTV30	13-05-21	10:00	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
MROI	13-05-21	10:50	ARI	274158.88 E 8679716.62 N		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																														
Indicar con una (X) en los recuadros inferiores, los análisis requeridos por cada muestra																																																																																																					
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <b>ENVIROTEST S.A.C.</b>              13 MAY 2021  <b>RECIBIDO</b>              LA RECEPCIÓN NO IMPLICA CONFORMIDAD           </div>																																																																																																					
<p><small>Envirotest S.A.C. RUC: 2052310590, Calle B M. C. 4to. 41 Urb. Puntavieja Lina 31 (Perú), Central Telefónica (511) 522-3758 / 533-1828, RUC 869114848. E-mail: info@envirotest.com.pe / www.envirotest.com.pe</small></p>																																																																																																					

ADQUIRENTE o USUARIO

## ANEXO 6: Validación de instrumentos ficha n°1 y ficha n°2



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres: Dr. CASTAÑEDA OLIVERA, CARLOS ALBERTO
- 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente e Investigador/UCV Lima Norte
- 1.3. Especialidad o línea de investigación: Calidad y Gestión de los recursos naturales
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de recojo de datos
- 1.5. Autor(A) de Instrumento: Bonilla Chavez Eloy Silverio / Pérez Lezcano Ricardo Erich

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

85%
-----

Lima 04 de junio del 2021

  
 Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera  
 DOCENTE E INVESTIGADOR  
 D.P. 136267  
 RENACYT: P0679075



**Ozonificación de los efluentes de la industria galvánica para la reducción de concentración de cianuro en el distrito de Puente Piedra - Lima.**

formato N°1

Formato de recolección de datos

Fecha

**Información General**

Facultad

Escuela

Participantes

**Datos Generales**

Caudal del Generador de O3

Volumen del Reactor

Caudal de la bomba de agua

Peso de tapas PET enteras

Peso de material PET trituradas

**Información del proceso**

Codigo de muestra	Tiempo de tratamiento (m)	Concentración de Cianuro Total (mg/L)	PH	Temperatura (°C)	Caudal del sistema(L/m)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

  
**Dr. Ing. Carlos Alberto Castañeda Olivera**  
DOCENTE E INVESTIGADOR  
CIP: 130267  
RENACYT: P0078275



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:.....Ordoñez Galvez, Juan Julio .....
- 1.2. Cargo e institución donde labora:.. Docente de la UCV.....
- 1.3. Especialidad o línea de investigación:.. Hidrología Ambiental.....
- 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:.....
- 1.5. Autor(A) de Instrumento:.....

#### II ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X		
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X		

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

SI
-----

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

90%
-----

Lima...19 de mayo... de 201

  
 Juan Julio Ordoñez Galvez  
 DNI: 08447308



Ozonificación de los efluentes de la industria galvánica para la reducción de concentración de cianuro en el distrito de Puente Piedra - Lima.

formato N°1

Formato de recolección de datos

Fecha

Información General

Facultad

Escuela

Participantes

Datos Generales

Caudal del Generador de O3

Volumen del Reactor

Caudal de la bomba de agua

Peso de tapas PET enteras

Peso de material PET trituradas

Información del proceso

Codigo de muestra	Tiempo de tratamiento (m)	Concentracion de Cianuro Total (mg/L)	PH	Temperatura (°C)	Caudal del sistema(L/m)

Antes de firmar

José Julio Ochoa Galvez

DNI: 08447308



### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

#### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres:..... Benites Alfaro Elmer.....  
 1.2. Cargo e institución donde labora:..... Docente UCV.....  
 1.3. Especialidad o línea de investigación:..... Docente investigador/Calidad y Gestión de RR.NN.....  
 1.4. Nombre del instrumento motivo de evaluación:..... Ficha de recojo de Datos.....  
 1.5. Autor(A) de Instrumento:..... Eloy Bonilla.....

#### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MEDIAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.										X			
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										X			
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.										X			

#### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

%

#### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :

85%
-----

Lima.....05 de abril..... del 2021

  
 Dr. Elmer Benites Alfaro  
 CIP 719098



Ozonificación de los efluentes de la industria galvánica para la reducción de concentración de cianuro en el distrito de Puente Piedra - Lima.

formato N°1

Formato de recolección de datos

Fecha

Información General

Facultad

Escuela

Participantes

Datos Generales

Caudal del Generador de O3

Volumen del Reactor

Caudal de la bomba de agua

Peso de tapas PET enteras

Peso de material PET trituradas

Información del proceso

Codigo de muestra	Tiempo de tratamiento (m)	Concentracion de Cianuro Total (mg/L)	PH	Temperatura (°C)	Caudal del sistema(L/m)

  
Dr. César Bentes Alfaro  
CIP 71998

## ANEXO 7: Informes de ensayos realizados en laboratorio.

### INFORME DE ENSAYO N° 212469 CON VALOR OFICIAL

Razón Social : ELOY BONILLA CHAVEZ  
 Domicilio Legal : Jr. Puntualidad N° 7961 - Urb. Pro - Los Olivos  
 Solicitado Por : ELOY BONILLA CHAVEZ  
 Referencia : Cotización N°1338-21R01  
 Proyecto : Reactor de organización a contracorriente con reductor cinético  
 Procedencia : Reservado por el cliente  
 Muestreo Realizado Por : EL CLIENTE  
 Cantidad de Muestra : 1  
 Producto : Agua residual  
 Fecha de Recepción : 07/05/2021  
 Fecha de Ensayo : 07/05/2021 al 11/05/2021  
 Fecha de Emisión : 11/05/2021

#### I. Resultados

Código de Laboratorio	212469-01
Código de Cliente	PA-01
Fecha de Muestreo	07/05/2021
Hora de Muestreo (h)	15:30
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E: 0275677.9 N: 9878003.6
Tipo de Producto	Agua Residual Industrial

Lugar de ensayo (Laboratorio Inorgánico)			
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M. / L.D.M	Resultados
Fisicoquímicos			
Cianuro Total	mg/L	0,004	318,5

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<math>^<sup>+</sup></math>" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, "P" = Resolución cuantificable, "M" = Límite de Detección de Método, "—" = No Analizado.

#### II. Métodos y Referencias

Tipo Ensayo	Norma Referencia	Título
Fisicoquímicos		
Cianuro Total	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN C, E, 23rd Ed.2017	Cyanide. Total Cyanide after Distillation. Colorimetric Method

SIGLAS: "SM": Standard methods for the examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF 23rd. Ed. 2017

## INFORME DE ENSAYO N° 212618 CON VALOR OFICIAL

Razón Social : ELOY BONILLA CHAVEZ  
 Domicilio Legal : Jr. Puntualidad N° 7961 Urb. Pro - Olivos  
 Solicitado Por : ELOY BONILLA CHAVEZ  
 Referencia : Cotización N° 1334-21R01  
 Proyecto : REACTOR DE OZONIFICACIÓN A CONTRACORRIENTE CON REDUCTOR CINÉTICO  
 Procedencia : INDUSTRIA GALVÁNICA  
 Muestreo Realizado Por : EL CLIENTE  
 Cantidad de Muestra : 7  
 Producto : Agua residual  
 Fecha de Recepción : 13/05/2021  
 Fecha de Ensayo : 13/05/2021  
 Fecha de Emisión : 18/05/2021

### I. Resultados

Código de Laboratorio	212618-01	212618-02	212618-03	212618-04	212618-05	212618-06
Código de Cliente	CTCH10	CTCH20	CTCH30	CTVI10	CTVI20	CTVI30
Fecha de Muestreo	13/05/2021	13/05/2021	13/05/2021	13/05/2021	13/05/2021	13/05/2021
Hora de Muestreo (h)	08:40	08:50	09:00	09:40	09:50	10:00
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E 0274158 N 8679716	E 0274158 N 8679716	E 0274158 N 8679716	E 0274158 N 8679716	E 0274158 N 8679716	E 0274158 N 8679716
Tipo de Producto	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial

Lugar de ensayo (Laboratorio Inorgánico)								
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados					
Fisicoquímicos								
Cianuro Total	mg CN /L	0,004	232,7	226,6	213,4	259,9	253,8	241,8

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M. o L.D.M. Indicado, "RD"=Resolución cuantificable, "RL" = Límite de Detección de Método, "—" = No Analizado.

Código de Laboratorio	212618-07
Código de Cliente	MR01
Fecha de Muestreo	13/05/2021
Hora de Muestreo (h)	10:50
Ubicación Geográfica (WGS 84)	E 0274158 N 8679716
Descripción de la Estación de Muestreo	—
Tipo de Producto	Agua Residual Industrial

Lugar de ensayo (Laboratorio Inorgánico)			
Tipo Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultado
Fisicoquímicos			
Cianuro Total	mg CN /L	0,004	244,2

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M. o L.D.M. Indicado, "RD"=Resolución cuantificable, "RL" = Límite de Detección de Método, "—" = No Analizado.



# ANEXO 8: certificado de multiparámetro

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No: CCP-0383-001-21

<b>IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE</b>							
NOMBRE: INSPECTORATE SERVICES PERÚ		DIRECCIÓN: AV. ELMER FAUCETT 440 LALLAO					
TELÉFONO: (01) 7967000		PERSONAS DE CONTACTO: ROSÓN ROSA					
<b>IDENTIFICACIÓN DEL ÍTEM DE CALIBRACIÓN</b>							
ÍTEM: MULTIPARÁMETRO	SERIE: 17130000000	MARCA: HACH					
MODELO: HANNA	CÓDIGO: 01A9-9079	UBICACIÓN: INSTRUMENTACIÓN - MEDIO AMBIENTE					
<b>MEDIDOR DE PH</b>		<b>MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD</b>					
UNIDAD DE MEDIDA: Unidades de pH	RESOLUCIÓN: 0.01 pH	UNIDAD DE MEDIDA: $\mu\text{mhos/cm}^2$	RESOLUCIÓN: (0.01 ; 0.1 ; 1) $\mu\text{mhos/cm}^2$				
INTERVALO DE MEDIDA: 0 a 14.0 pH		INTERVALO DE MEDIDA: 0.01 $\mu\text{mhos/cm}^2$ a 200.0 $\mu\text{mhos/cm}^2$					
<b>IDENTIFICACIÓN DEL SENSOR DE PH</b>		<b>IDENTIFICACIÓN DEL SENSOR DE CONDUCTIVIDAD</b>					
MARCA: HACH	MODELO: PHC101	MARCA: HACH	MODELO: CCE101				
SERIE: 17260000001	CÓDIGO: NO ESPECÍFICA	SERIE: 17300000000	CÓDIGO: NO ESPECÍFICA				
RESOLUCIÓN: 0.01 pH	INTERVALO DE MEDIDA: 0 a 14.0 pH	RESOLUCIÓN: (0.01 ; 0.1 ; 1) $\mu\text{mhos/cm}^2$	INTERVALO DE MEDIDA: 0.01 $\mu\text{mhos/cm}^2$ a 200.0 $\mu\text{mhos/cm}^2$				
<b>MATERIALES DE REFERENCIA UTILIZADOS</b>							
CÓDIGO	NOMBRE	MARCA	N° CAT.	LOTE	FECHA DEP.	N° CERTIFICADO	
SLP-MRC-001	BUFFER SOLUTION pH 4.000	CONTROL COMPANY	400	CC00004	2021-12-07	480-10078079	
SLP-MRC-002	BUFFER SOLUTION pH 7.000	CONTROL COMPANY	401	CC00003	2021-12-11	481-10078038	
SLP-MRC-003	BUFFER SOLUTION pH 10.010	CONTROL COMPANY	402	CC00000	2021-11-01	482-10071790	
SLP-MRC-004	SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE CONDUCTIVIDAD 100 $\mu\text{S/cm}$	CONTROL COMPANY	406	CC00003	2021-10-01	406-11003040	
SLP-MRC-005	SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE CONDUCTIVIDAD 1000 $\mu\text{S/cm}$	CONTROL COMPANY	407	CC00007	2021-10-16	407-11003001	
SLP-MRC-006	SOLUCIÓN ESTÁNDAR DE CONDUCTIVIDAD 1400 $\mu\text{S/cm}$	CONTROL COMPANY	413	CC00000	2021-08-04	413-11407035	
<b>EQUIPAMIENTO UTILIZADO</b>							
CÓDIGO	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE	VENCE CAL.	N° CERTIFICADO	
SLP-PT-017	TERMÓMETRO DIGITAL	SUPRO	ECOLOG 710	47840	2021-08-08	CCP-0104-079-20	
SLP-PT-026	TERMOCROMÓMETRO	CENTER	342	1800004	2021-08-24	CCP-0104-081-20	
<b>DECLARACIÓN DE TRAZABILIDAD METROLÓGICA</b>							
Las resultados de calibración contenidos en este certificado son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones a través del NIST (National Institute of Standards and Technology - Estados Unidos) o de otras Institutas Nacionales de Metrología (INM).							
<b>CALIBRACIÓN</b>							
MÉTODO:	COMPARACIÓN DIRECTA MEDIANTE MATERIALES DE REFERENCIA CERTIFICADOS						
DOCUMENTOS DE REFERENCIA:	CSM 01-002:2008 (EDICIÓN DIGITAL 1) y OIML R 86:1985						
PROCEDIMIENTO:	PEC SLP-11 - PEC SLP-10	TEMPERATURA AMBIENTAL: 20.0 °C	40.0 °C				
LUGAR DE CALIBRACIÓN:	LABORATORIO 1 - ELICROM PERÚ	HUMEDAD RELATIVA: 50.1 %RH	40.0 %RH				
<b>RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN PARA PH</b>							
Unidad	Nombre	Valor NRC (x)	Um (y)	Error de Medición	Incertidumbre (k=2)	Temperatura (°C)	
Unidades de pH	4.000	4.009	4.00	0.011	0.010	20.0	
Unidades de pH	7.000	7.000	6.99	-0.010	0.010	20.0	
Unidades de pH	10.010	10.010	10.00	0.010	0.010	20.0	
Recta de Regresión:		$y = 0.9957x + 40.046$		Coeficiente de Corrección		$k = 1.0000$	
<b>RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN PARA CONDUCTIVIDAD</b>							
Unidad	Nombre	Valor NRC (x)	Um (y)	Error de Medición	Incertidumbre (k=2)	Temperatura (°C)	
$\mu\text{mhos/cm}^2$	100	96.5	112.0	-12.5	3.3	20.0	
$\mu\text{mhos/cm}^2$	1000	1000.0	1013	-13.0	4.7	20.4	
$\mu\text{mhos/cm}^2$	1413	1412.0	1421	-9.0	4.7	20.0	
Recta de Regresión:		$y = 1.0048x + 40.046$		Coeficiente de Corrección		$k = 1.0000$	
MRC: Material de Referencia Certificado:				NOTA: Se presentan los promedios de 3 mediciones por cada punto.			
CALIBRACIÓN REALIZADA POR:		José Ferro		FECHA DE RECEPCIÓN DEL ÍTEM:		2021-04-20	
FECHA DE CALIBRACIÓN:		2021-04-20		FECHA DE EMISIÓN:		2021-04-20	



Autenticación de certificado

Autorizado y firmado electrónicamente por:

Gerente general - Autorización PEC20319SP

Este informe contiene 3 (algún)s, Página 1 de 3



Av. Federico Sánchez Carloti 17815 Of 604, Jesús María - Lima, Tel: 017960267




Sustento legal de firma electrónica



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No: CCP-0383-001-21**

						
<b>MEDIDOR DE TEMPERATURA</b>						
UNIDAD DE MEDIDA:	°C	RESOLUCIÓN:	0,1 °C			
		INTERVALO DE MEDIDA:	(0 a 60) °C			
<b>IDENTIFICACION DEL SENSOR</b>						
MARCA:	HACH	CÓDIGO:	NO ESPECIFICA			
MODELO:	CD0401	RESOLUCIÓN:	0,1 °C			
SERIE:	173532586002	INTERVALO DE MEDIDA:	(-10 a 110) °C			
<b>EQUIPAMIENTO UTILIZADO</b>						
<b>CODIGO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>SERIE</b>	<b>VENCE CAL.</b>	<b>Nº CERTIFICADO</b>
ELP.PT.025	BAÑO DE POZO LIQUIDO	POLYSCIENCE	PD15RCAL-A12E	1802-03541	2021-08-28	CCP-0104-089-20
ELP.PC.028.01	SENSOR DE TEMPERATURA	JUMO	902830/30-302-1011	FA 2524576 / 101	2021-08-13	CCP-0104-049-20
ELP.PT.059	BARÓMETRO	CONTROL COMPANY	6530	181821642	2021-11-05	CCP-0104-149-20
ELP.PT.036	TERMOHIGRÓMETRO	CENTER	342	180303334	2021-08-24	CCP-0104-081-20
<b>CALIBRACIÓN</b>						
MÉTODO:	COMPARACIÓN DIRECTA CON TERMÓMETRO PATRÓN Y BAÑO CONTROLADO DE TEMPERATURA					
DOCUMENTO DE REFERENCIA:	CEM TH-001:2008 (EDICIÓN DIGITAL 1)					
PROCEDIMIENTO:	PEC.ELP.03					
LUGAR DE CALIBRACIÓN:	LABORATORIO 1 (ELICROM)					
TEMPERATURA AMBIENTAL MEDIA:	20,8 °C	±0,1 °C				
HUMEDAD RELATIVA MEDIA:	58,0 %HR	±0,2 %HR				
PRESIÓN ATMOSFÉRICA MEDIA:	1004 hPa	±0 hPa				
<b>RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN</b>						
Nominal	Lectura Item	Lectura Patrón	Error de Medición	Incertidumbre	Factor de Cobertura (k)	
°C	°C	°C	°C	°C		
0	0,0	0,007	-0,007	0,073	2,00	
25	25,0	24,996	0,002	0,080	2,00	
40	40,0	40,007	-0,007	0,080	2,00	
<b>DECLARACIÓN DE TRAZABILIDAD METROLÓGICA</b>						
Los resultados de calibración contenidos en este certificado son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones a través del CENAM (Centro Nacional de Metrología - México) o de otros Institutos Nacionales de Metrología (INMs).						
<b>OBSERVACIONES</b>						
La Incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición (Intervalo de confianza), la cual se evaluó con base en el documento JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k, que para una distribución t (de Student) corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente el 95,45%. Este certificado no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio Elicrom-Calibración. Los resultados contenidos en este certificado son válidos únicamente para el ítem aquí descrito, en el momento y bajo las condiciones en que se realizó la calibración.						
<b>NOTA 1:</b> La lectura patrón, MRC y el error de medición (mejor estimación del valor verdadero) se muestran con la misma cantidad de decimales que la incertidumbre reportada (véase 7.2.6 de la GUM).						
<b>NOTA 2:</b> La recta de regresión considera los valores del MRC (x) y del ítem de calibración (y) en µS/cm.						
<b>NOTA 3:</b> De acuerdo al Intervalo de medida autorizado por el cliente para el ajuste (en caso de haberse realizado), se debe considerar la influencia que tiene esta compensación en valores diferentes a dicho Intervalo. Por ejemplo, si el ítem de calibración fue ajustado en rango alto, los resultados obtenidos en rango bajo pueden verse afectados o viceversa. El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado del ítem calibrado.						
CALIBRACIÓN REALIZADA POR:	Jesús Trejo					
FECHA DE RECEPCIÓN DEL ÍTEM:	2021-04-23			FECHA DE EMISIÓN: 2021-04-26		
FECHA DE CALIBRACIÓN:	2021-04-26					

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No: CCP-0383-001-21

						
MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTOS						
UNIDAD DE MEDIDA:	mg/L	%	RESOLUCIÓN: mg/L RANGO: 0,01 mg/L			
			0,1 %			
IDENTIFICACION DEL SENSOR						
MARCA:	HACH	UNIDAD DE MEDIDA:	mg/L			
MODELO:	LDO101	RESOLUCIÓN:	0,01 mg/L			
SERIE:	151882597009	RANGO:	(0 a 20) mg/L			
CÓDIGO:	NO ESPECIFICA		(0 a 200)%			
MATERIALES DE REFERENCIA CERTIFICADOS UTILIZADOS						
CODIGO	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE	PROX. CAL.	Nº CERTIFICADO
EL.MR.151	COBALT REFERENCE ESTANDAR SOLUTION 1000	HACH	21503-42	A9037	2022-02-11	2150342-LM
EL.MR.152	SILICA 3 REAGENT	HACH	271-69	A9077	2023-03-02	27169-LM
EQUIPOS UTILIZADOS						
CODIGO	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE	VENCE CAL.	Nº CERTIFICADO
ELP.PT.059	BAROMETRO	CONTROL COMPANY	6530	181821642	2021-11-05	CCP-0104-149-20
ELP.PT.036	TERMOHIGROMETRO	CENTER	342	180303334	2021-08-24	CCP-0104-081-20
CALIBRACION						
METODO:	COMPARACION DIRECTA CON PATRON DE REFERENCIA					
PROCEDIMIENTO:	PEC.ELP.PG					
LUGAR DE CALIBRACION:	LABORATORIO 1 - ELICROM PERU					
TEMPERATURA AMBIENTAL:	20,5 °C	± 0,1 °C	HUMEDAD RELATIVA: 58,1 %HR			
PRESION ATMOSFERICA MEDIA:	1004 hPa	±0 hPa	± 0,4 %HR			
RESULTADOS DE LA CALIBRACION						
Unidad de medida	Patrón	Lectura de Item	Error de Medición	Incertidumbre	Observación	
mg/L	0,00	0,08	-0,0800	0,0058	0,9% DO a 25,0°C	
mg/L	8,25	8,37	-0,1200	0,0058	99,6% DO a 25,0°C	
OBSERVACIONES						
<p>La Incertidumbre reportada en el presente certificado es la Incertidumbre expandida de medición, la cual se evaluó con base en el documento JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", multiplicando la Incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2,00, que para una distribución t (de Student) corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente el 95,45%. Este certificado no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio Elicrom-Calibración. Los resultados contenidos en este certificado son válidos únicamente para el ítem aquí descrito, en el momento y bajo las condiciones en que se realizó la calibración.</p> <p><b>Nota: Se realiza promedio de 5 mediciones por cada punto de calibración.</b></p>						
CALIBRACION REALIZADA POR:	José Ferro					
FECHA DE RECEPCION DEL ITEM:	2021-04-23	FECHA DE EMISION: 2021-04-26				
FECHA DE CALIBRACION:	2021-04-26					