



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Efecto de concentraciones TiO_2 sobre la degradación fotocatalítica
de cianuro en aguas residuales de minería aurífera

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Cuti Merma, Rosa Luz (ORCID: 0000-0001-8668-6418)

Oblitas Huallpa, María Elena (ORCID: 0000-0002-0344-9116)

ASESOR:

M. Sc. Solorzano Acosta, Richard Andi (ORCID: 0000-0003-3248-046X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

LIMA— PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a nuestros padres, porque en este trayecto nos brindaron su apoyo y su amor incondicional.

A las personas que forman y formaron parte de nuestra vida, por la compañía, consejos, motivación y ánimos brindados.

Agradecimiento

Agradecer en primera instancia a Dios por brindarnos salud y permitirnos concretar esta meta que nos trazamos.

Agradecer a toda nuestra familia, en especial a nuestros padres, que durante todo este camino supieron comprendernos y tenernos mucha paciencia; a su amor incondicional y porque cada día se tomaron el trabajo de brindarnos palabras de aliento, los cuales fueron suficientes para llegar a no rendirnos hasta cumplir nuestros objetivos tanto personales como profesionales.

A la Universidad Cesar Vallejo por instruirnos de la mejor manera, tomando en cuenta los buenos valores que se deben considerar en cada decisión a tomar, por brindarme las bases de los conocimientos necesarios para desarrollarnos académicamente como buenos profesionales.

A nuestro asesor de Tesis, M. Sc. Solórzano Acosta Richard Andi, por encabezar este camino guiándonos hacia el cumplimiento de la presente investigación, por sus buenos consejos. Por brindarnos muchos ánimos con el fin de poder culminar satisfactoriamente nuestra carrera profesional.

Índice de contenido

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	15
3.1. Tipo y diseño de investigación	15
3.2. Variables y Operacionalización	17
3.3. Población, muestra y muestreo	20
3.3.1. Población	20
3.3.2. Muestra	20
3.3.3. Muestreo	20
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
3.4.1. Técnicas	20
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos	21
3.5. Procedimiento	22
3.5.1. Caracterización de la muestra	22
3.5.2. Adecuación de la muestra para el tratamiento	23
3.5.3. Pesaje de TiO ₂	24
3.5.4. Desarrollo de la experimentación	25
3.5.5. Tratamiento	28

3.5.6. Almacenamiento de las muestras después del tratamiento	28
3.6. Método de análisis de datos	29
3.7. Aspectos éticos	29
IV. RESULTADOS	30
V. DISCUSIÓN	33
VI. CONCLUSIONES	35
VII. RECOMENDACIONES	36
REFERENCIAS	37
ANEXOS	

Índice de figuras

Figura 1 Toma de muestra de agua residual.....	22
Figura 2 Muestras tomadas y envasadas en recipientes de plástico.	23
Figura 3 Filtración de impurezas	24
Figura 4 Instrumento, material y reactivo para el pesado.....	24
Figura 5 Pesado del catalizador dióxido de titanio (TiO ₂).....	25
Figura 6 Llenado de la muestra de agua residual en los tubos de boro silicato	25
Figura 7 Llenado de los tubos con muestras de agua aplicando el tratamiento	26
Figura 8 Muestras foto catalíticas.....	26
Figura 9 Fotorreactor utilizado para el desarrollo de la experimentación	27
Figura 10 Esquema del sistema foto catalítico de recirculación iluminado con lámpara UV	27
Figura 11 Muestras de la réplica 1 a diferentes concentraciones de TiO ₂	28
Figura 12 Muestras de réplica 2 a diferentes concentraciones de TiO ₂	29
Figura 13 Muestras de la réplica 3 s diferentes concentraciones de TiO ₂	29
Figura 14 Gráfico de barras de la degradación experimental del cianuro por efecto de dosis de TiO ₂	32

Índice de tablas

Tabla 1 Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes Líquidos de actividades minero.	14
Tabla 2 Matriz de Operacionalización de Variables.	19
Tabla 3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.	21
Tabla 4 Datos de la toma de muestra.....	23
Tabla 5 Tratamiento con catalizador a dosis creciente.	28
Tabla 6 Caracterización fisicoquímica de la muestra tomada de la relavera de la planta de beneficio FAGSOL CONSTRUCTION S.A.C.....	30
Tabla 7 Análisis de varianza ANOVA de la cantidad degradada para cada nivel de dosis de TiO ₂	31
Tabla 8 Degradación experimental del cianuro por efecto de dosis de TiO ₂	32

RESUMEN

En la actualidad el cianuro es uno de los contaminantes más tóxicos presentes en efluentes mineros auríferos, debido a que al entrar en contacto con cuerpos de aguas superficiales y subterráneas acaban por degradar la calidad del recurso. Hasta la fecha se han investigado diversos métodos para su tratamiento siendo la más efectiva el método fotocatalítico. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de concentraciones de TiO_2 sobre la degradación fotocatalítica de cianuro en aguas residuales de minería aurífera. En una muestra de agua residual de minería aurífera con 350 ppm de cianuro total se evaluó la degradación en un fotorreactor de 4 tubos con un sistema de bombeo de 60 watts en el cual se ensayaron 4 diferentes concentraciones del catalizador TiO_2 (0.0 g/L, 0.4 g/L, 1.6 g/L y 2 g/L), en tres bloques por un periodo de 6 horas expuesto a la luz UV. Se obtuvo que la dosis en la que existe una mayor cantidad de cianuro es 1600 ppm de TiO_2 con 326.94 ppm de cianuro degradado, mientras que con 400 ppm de catalizador se tuvo una menor degradación del cianuro y las dosis 1600 y 2000 ppm obtuvieron una degradación estadísticamente similar. Se concluye que el TiO_2 es un catalizador efectivo en la degradación del cianuro en aguas residuales de minería aurífera y que después del tratamiento con dosis de 1600 ppm de TiO_2 en presencia de una concentración inicial de 350 ppm de cianuro total se logra una eficiencia de hasta 92.57%.

Palabras clave: fotocatalizador, cianuro, dióxido de titanio, aguas residuales

ABSTRACT

Currently, cyanide is one of the most toxic contaminants present in gold mining effluents, because when it comes into contact with bodies of surface and groundwater, it ends up degrading the quality of the resource. To date, various methods have been investigated for its treatment, the most effective being the photocatalytic method. Therefore, the present investigation aimed to evaluate the effect of TiO₂ concentrations on the photocatalytic degradation of cyanide in gold mining wastewater. In a sample of gold mining wastewater with 350 ppm of total cyanide, degradation was evaluated in a 4-tube photoreactor with a 60-watt pumping system in which 4 different concentrations of the TiO₂ catalyst were tested (0.0 g/L, 0.4 g/L, 1.6 g/L and 2 g/L), in three blocks for a period of 6 hours exposed to UV light. It was obtained that the dose in which there is a greater amount of cyanide is 1600 ppm of TiO₂ with 326.94 ppm of degraded cyanide, while with 400 ppm of catalyst there was less degradation of cyanide and the doses 1600 and 2000 ppm obtained a degradation statistically similar. It is concluded that TiO₂ is an effective catalyst in the degradation of cyanide in gold mining wastewater and that after treatment with doses of 1600 ppm of TiO₂ in the presence of an initial concentration of 350 ppm of total cyanide, an efficiency of up to 92.57%.

Keywords: photocatalyst, cyanide, titanium dioxide, sewage

I. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales provenientes de las diferentes actividades antropogénicas, en particular las de la industria minera, han originado uno de los contaminantes más nocivos para el medio ambiente como lo es el cianuro (Vargas y Cuesta, 2009). Esta actividad descarga efluentes con un contenido de cianuro mayor a 1 ppm, resultando perjudicial para los seres vivos y el medio ambiente (Soto et al., 2020).

El cianuro es un componente principalmente utilizado en minería aurífera en el proceso de extracción y recuperación de oro (Fernández et al., 2022) y causa grandes impactos ambientales como la degradación de aguas subterráneas, aguas superficiales, suelos e incrementa las probabilidades de escasez de agua dulce en los próximos años (Fernández et al., 2022). Al utilizar el cianuro se originan relaves con alta concentración de este, los cuales son cada vez más difícil de remediar.

Por ello a lo largo de los años se han desarrollado múltiples técnicas para la degradación del cianuro como la coagulación, floculación, neutralización con NaSH, AVR y fotocátalisis; y empleado diversos catalizadores como el peróxido de hidrógeno, sulfato ferroso, ácido sulfúrico, meta sulfito más aire, cloro hipoclorito (Frank et al., 1977). La fotocátalisis destaca como un tratamiento pasivo acorde al aprovechamiento de la radiación solar para el rompimiento de enlaces en la molécula de cianuro (Coronel et al., 2021), generando compuestos menos tóxicos como el CO_2 , HO_2 , cianatos (OCN^-); los cuales son mil veces menos tóxicos que el cianuro y pueden ser tratados por microorganismos presentes en la naturaleza (Vargas y Cuesta, 2009).

Asimismo, se puede agregar que la degradación foto catalítica es una técnica que se basa en la absorción directa e indirecta de energía radiante (UV) por un sólido que normalmente es un semiconductor de banda ancha, particularmente el dióxido de titanio (Chiang y Tran 2002), debido a que presenta una elevada estabilidad química que lo hace apto para trabajar un amplio rango de pH; asimismo la cantidad o dosis de dióxido de titanio

empleado para degradar el cianuro en el proceso de fotocátalisis varía en función de la concentración y tipo de efluente a tratar (Mira, 2012). Algunos autores mencionan que el fotocatalizador dióxido de titanio (TiO_2) es más eficiente en concentraciones que van desde 0.5 hasta 2 g/L (Caicedo et al., 2020); sin embargo, estas dosis se aplican en soluciones ideales con cianuro y no en muestras de campo la gran mayoría de veces por lo que la dosis debe ser establecida experimentalmente para demostrar su eficacia.

Es por ello que, en base a estudios ya realizados, se decide tomar como caso de estudio al catalizador dióxido de titanio en el tratamiento de aguas residuales de minería aurífera para la degradación de cianuro, ensayando dosis crecientes dentro de los rangos experimentales propuestos por la literatura para un caso real de relave minero proveniente de la minería aurífera.

Por lo tanto, para el desarrollo de la presente investigación se planteó el siguiente **problema**: ¿Cuál es el efecto de concentraciones TiO_2 sobre la degradación foto catalítica de cianuro en aguas residuales de minería aurífera?

Bajo la **hipótesis** que, a mayor concentración de TiO_2 mayor degradación de cianuro en aguas residuales de minería aurífera.

Con el **objetivo** de: Evaluar el efecto de concentraciones TiO_2 sobre la degradación foto catalítica de cianuro en aguas residuales de minería aurífera.

Estableciendo los siguientes **objetivos específicos**:

- Caracterizar fisicoquímicamente los efluentes líquidos tomados como muestra de la planta de Beneficio de FAGSOL CONSTRUCTION S.A.C.
- Determinar el efecto de la concentración de 0.0 ppm, 400 ppm, 1600ppm y 2000 ppm de TiO_2 sobre la degradación foto catalítica de cianuro en aguas residuales de minería aurífera.

El presente trabajo se justifica a nivel técnico porque la fotocatalisis con el catalizador de dióxido de titanio (TiO_2) es efectiva para descomponer compuestos complejos hallados en aguas residuales provenientes de las distintas actividades industriales, todo ello mediante radicales hidroxilos, los cuales se encargan de oxidar y/o degradar casi en su totalidad a un compuesto contaminante (Gómez y Sarria, 2009). A nivel económico porque el tratamiento de efluentes cianurado mediante el método de fotocatalisis disminuye costos de operación y mantenimiento, debido a que se utiliza como fuente de energía la radiación solar UV, para degradar el contaminante, no generando gastos de energía eléctrica. A nivel social y ambiental porque el tratamiento de efluentes cianurado por el método de fotocatalisis, previene a población aledaña de actividades mineras de procesamiento a sufrir daños a la salud, así como al medio ambiente, debido a que no se generan como residuos sustancias químicas distintas al contaminante como es el caso de otros métodos químicos.

II. MARCO TEÓRICO

Luego de una búsqueda exhaustiva se pudo encontrar los siguientes antecedentes:

Vargas y Cuesta (2009), evaluaron la eficacia de remoción del cianuro de efluentes industriales a partir de la oxidación foto catalítica empleando luz ultravioleta UV y dióxido de titanio TiO_2 como catalizador, para este diseño utilizaron un reactor foto catalítico de acero inoxidable mediante un diseño factorial. Reportan que mayores tiempos de reacción y mayores concentraciones del catalizador favorecen la remoción del cianuro, por lo que concluyó que el método de oxidación foto catalítica es efectiva para disminuir concentraciones de cianuro en efluentes industriales en tan solo 4 horas.

Quispe et al. (2011), lograron la eliminación del cianuro en medio acuoso, mediante la adición de peróxido de hidrógeno y mediante el proceso de fotocatalisis con óxido de titanio. En su primer experimento utilizaron peróxido de hidrógeno en un reactor foto catalítico con 500 ml de solución de cianuro y con una concentración de 3 ppm de H_2O_2 , en el segundo experimento agregaron 0,5 g de óxido de titanio a la solución de 500 ml de cianuro con una concentración de 3 ppm bajo una agitación constante, y por último evaluaron la combinación de los dos anteriores experimentos (CN-UV/ H_2O_2 y CN-UV/ TiO_2), alcanzando un 94% de eliminación en 40 min. de reacción y 99% en 60 minutos. Concluyendo que el sistema combinado es el más óptimo para degradar el cianuro, siendo superior a los dos primeros experimentos realizados.

De acuerdo a Barbosa y Castro (2012), el cianuro es degradable utilizando dióxido de titanio, niobio y un fotorreactor, los cuales fueron expuestos a una radiación solar con inclinación de 10.45° . Se colocó solución de CN 100 g/l en tubos colectores por medio de una bomba sumergible a una potencia de 35 watt con un flujo de 200-250 l/h durante las 11:00 am y 1:00 pm. Recogiendo muestras periódicamente para sus respectivos análisis, demostraron que la adición de H_2O_2 y O_3 aumentó la degradación del cianuro en un 67% y 71% para el Dióxido de titanio, concluyendo que la adición del Ozono mejoró la degradación del cianuro.

Así mismo, Caicedo et al. (2020), propusieron evaluar la oxidación del ferrocianuro en aguas residuales de minería de oro mediante un sistema foto catalítico, para lo cual evaluaron los parámetros químicos, concentración de TiO_2 , adsorción en etapa oscura, suministro de H_2O_2 , potencia de radiación UV y un ensayo con TiO_2 con radiación solar. Demostrando que durante 24 horas la degradación del ferrocianuro fue de 70% con TiO_2 a comparación de una fotólisis sin adición de un oxidante y catalizador, sin embargo, la combinación de H_2O_2 y TiO_2 alcanzó un 83% de degradación, concluyendo que el mejor resultado se obtuvo con el sistema foto catalítico H_2O_2 y TiO_2 respectivamente.

De acuerdo a Coronel et al. (2021), realizaron una investigación, donde evaluaron la degradación foto catalítica de cianuro utilizando TiO_2 soportado sobre Carbón activado en un foto reactor de flujo continuo; para lograr el objetivo se tuvo que construir un foto reactor en vidrio, sintetizar el TiO_2 - AC a través de impregnación de TiO_2 en compuestos granulares de carbón activado, llegando a obtener una degradación del 97% de CN durante 24 horas debido a la combinación de adsorción y oxidación, concluyendo que la fotocatalisis y el diseño del foto reactor continuo mejoraron la degradación del cianuro.

Según Chiang y Tran (2002), es factible degradar el cianuro mediante la adición de 0.05 a 10.0% de cobre sobre la superficie del dióxido de titanio, para lo cual utilizaron una cama plana de 1 lt. y un reactor mediante el cual se realizó la circulación del fluido a través de un serpentín de vidrio, bombeando a un caudal de 4l/min. y a una temperatura constante; demostrando que la modificación del catalizador TiO_2 con Cu varió en sus características óptimas, llegando a evidenciar que la degradación del cianuro con el catalizador dopado optimizó ligeramente a 0.10 at% de Cu. Concluyendo que la presencia de iones cobre a concentraciones de 0,002-0,05 mm disminuye la degradación del cianuro.

Seguidamente Saleh et al. (2010), buscaron degradar el cianuro mediante la preparación de un nano compuesto combinado de MWCNT/ZnO. Para ello, utilizaron tres nano compuestos, nano óxido de zinc puro (n-ZnO), nanotubo de carbono de pared múltiple y nano

compuesto de MWCNT/ZnO, en un reactor especial controlando las variables de radiación UV, distintos tiempos de irradiación láser, pH de la solución y dosificación del nano compuesto, obteniendo un 90% de degradación del CN con el nano compuesto de MWCNT/ZnO, llegando a confirmar que la combinación es eficiente para la degradación a comparación del nano óxido de zinc puro y los nanotubos de carbono.

Siboni et al. (2011), se propusieron eliminar el cianuro de aguas residuales mediante el proceso fotocatalítico utilizando TiO_2 iluminado. Para ello tuvieron que determinar la dosis óptima del TiO_2 , tiempo de contacto, pH de la solución y la concentración inicial del cianuro, llegando a evidenciar que a partir de la isoterma de langmuir la capacidad máxima se determinó en 17,24 mg/g a un pH de 7 y que la cantidad de cianuro adsorbida fue directamente proporcional al aumento de la dosis del TiO_2 . Sin embargo, no se observó un incremento mayor a 1g/L de TiO_2 , concluyendo que la dosis óptima del catalizador es de 1 g/L y demostrando ser eficiente para tratar aguas residuales contaminadas con cianuro.

Frank et al. (1977), nos cuenta que realizaron un estudio con diferentes semiconductores tales como, ZnO, CdS, FeO, WO_3 y TiO_2 , con la finalidad de lograr la oxidación del cianuro (CN) y óxido de azufre (SO) en soluciones acuosas, observando que en presencia de luz del sol la constante de velocidad para la degradación del cianuro con dióxido de titanio fue de $3.1 \times 10^{-6} \text{ mol day}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ superficie iluminada. Concluyendo que los fotocatalizadores adecuados para la degradación del cianuro son, TiO_2 , ZnO y CdS mientras que el Fe_2O_3 y WO_3 no presentaron actividad oxidativa alguna.

Mestre et al. (2020), propusieron degradar el cianuro de efluentes mineros auríferos, mediante un sistema discontinuo utilizando como fuente de luz una lámpara de mercurio de 125 watts y dos catalizadores, TiO_2 Degussa y TiO_2 dopado con heteropoli molibdato de Cu, el cual fué sintetizado y caracterizado mediante XRD y FTIR; teniendo como evidencia una degradación del 98,55% de cianuro con 0,3 g/L de TiO_2 y 97,17% con TiO_2 dopado con 1% de heteropoli molibdato de cobre(1g/L) en 50 minutos

de reacción. Realizaron también una prueba con muestra real, obteniendo una degradación del cianuro de 55,76% con TiO_2 en 240 minutos de reacción, llegando a confirmar que el TiO_2 es un excelente catalizador para degradar el cianuro en efluentes mineros auríferos.

Núñez et al. (2019), evaluaron la degradación del cianuro utilizando el catalizador ZnO dopado con boro en las siguientes concentraciones, (1; 1.5 y 2), el cual sintetizaron por el método de Sol – Gel. Utilizaron radiación solar simulada y un reactor discontinuo de cuarzo, utilizando 300ml de solución con cianuro a un pH 11. La concentración de cianuro fue medida por potenciometría y el contenido de iones intermedios mediante la espectrofotometría UV-vis. El ZnO-B 1.5% tuvo un mejor desempeño fotocatalítico degradado el 89% de cianuro de 10mgL^{-1} y el ZnO sin dopar obtuvo solo 75%, ambos casos con 1.4 mg/L^{-1} de catalizador a una energía acumulada de 400 KJ m^{-2} .

Hernández et al. (2002), buscaron degradar el cianuro mediante la fotocatalisis, utilizando un fotorreactor discontinuo con lámpara sumergida y con contenido de TiO_2 poli cristalino; utilizaron aire y mezcla de ozono como oxidantes. Llegando a la conclusión de que el tratamiento mejorado con ozono tiene una afinidad muy fuerte con el dióxido de titanio, obteniendo una mayor degradación de cianuro a comparación del TiO_2 con oxígeno puro.

Pala et al. (2015), establecieron eliminar el cianuro utilizando nuevas películas delgadas de fotocatalizadores de titanatos de potasio, lantano y una capa de CeO_2 ; para obtener una mayor actividad fotocatalítica recubrieron sustratos de Si (100) con películas, obteniendo KLTO/ CeO_2 , para la iluminación emplearon el ATLAS SUNTEST CPS+ que reemplazo la radiación solar. Demostrando una alta eficiencia en la eliminación del cianuro en un 99.87% a un pH 10, intensidad de luz 750W/m^2 durante un periodo de 5 horas.

Pan et al. (2021), se propusieron investigar la eficiencia fotocatalítica de distintas relaciones de $\text{SiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ con nano- TiO_2 y el efecto sinérgico de oxidación para la degradación de cianuro con las siguientes variables,

tiempos de adsorción e iluminación. Los mejores resultados se obtuvieron utilizando el catalizador compuesto y con una alta relación de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y nano- TiO_2 , con la extensión del tiempo fotocatalítico en 2 horas. Se observó también una eficiencia de degradación del 93,97% de los cianuros totales en un periodo de 3 horas y la iluminación durante 4 horas a temperatura ambiente, con aire que funciona como oxidante.

Según Eskandari et al. (2017), se propusieron evaluar la eficiencia de degradación del cianuro, utilizando óxidos de Zn (II) y Fe (III) como nanoestructura soportada sobre carbón activado, aplicando la metodología de superficie de respuesta. Evidenciando que, al aumentar la dosis del catalizador, la concentración del H_2O_2 y el tiempo de irradiación, optimizaba la eficiencia de degradación del cianuro. Concluyendo que las condiciones ideales son: CN = 250mg L⁻¹, fotocatalizador= 1.4g L⁻¹, tiempo de irradiación= 180 minutos, pH=10, relación molar de Fe_3+/ZnO = 6% y H_2O_2 = 300 mg L⁻¹ obteniendo un 98%.

Asimismo, Van Grieken et al. (2005), investigaron el mecanismo de la fotocatalisis homogénea, así como su oxidación heterogénea con Degussa P25 TiO_2 y fotocatalizadores de TiO_2 soportados en sílice. Se encontró que la mejor actividad se dió para el fotocatalizador sintetizado soportando 20% en peso de TiO_2 sobre sílice SBA-15 a comparación con el Degussa P25. Concluyendo que la estructura porosa de material SBA-15 limita el acceso de los complejos de hierro-Ciano a las partículas de TiO_2 , mientras que los cianuros libres liberados homogéneamente pueden alcanzar la superficie del semiconductor, logrando ser oxidados a cianato.

Por otra parte, en el presente proyecto de investigación se tiene presente los siguientes conceptos:

El cianuro, es un compuesto químico inmensamente tóxico, conformado por un átomo de carbono y un átomo de nitrógeno, los cuales se encuentran enlazados mediante un triple enlace covalente (Guerrero, 2013). Este compuesto se clasifica de la siguiente manera según Ramírez (2010)

- Cianuro Libre: Es aquella partícula que se rompe en el agua de proceso como cualquier cianuro de hidrógeno (HCN) que se estructura en disposición.
- Cianuro Simple: Son las sales de corrosivo hidrociánico que dan lugar a una respuesta de cationes de tierra soluble libre de aniones cianuro.
- Cianuros complejos: Emiten grados nocivos de corrosivos hidrociánico cuando se presentan a una radiación brillante extrema.
- Cianuro total: Es el que incorpora el cianuro libre, simple y cada uno de los cianuros complejos.
- Cianuro dissociable con corrosivo débil: Terminado utilizado para compuestos de bajo reflujo, separado de corrosivo frágil.
- Cianato: Efecto posterior de la respuesta con oxidantes, como el cloro, ozono, oxígeno y peróxido de hidrógeno.
- Otras mezclas: Es la consecuencia de la respuesta con sulfuros dejados fuera de los sulfuros metálicos de sistema de filtración, como el tiocianato.

El cianuro de acuerdo a Guerrero (2005), ha utilizado como extractor de metales a partir del año 1887 debido a que establece eficazmente enlaces con la mayoría de los metales como el oro, el cobre, el zinc, el mercurio, el hierro, etc.

Según la Guía de la Minería (2005), el cianuro tiene la naturaleza de disolver el oro y la plata que se encuentran en la naturaleza bajo circunstancias seguras con un pH >10,5, de la misma manera en los ejercicios antropogénicos el cianuro se utiliza como cianuro de sodio, blanco y fuerte como el vidrio.

También se utiliza durante el sistema de lixiviación, donde el mineral debe ser dividido a algo así como el 80% con una sección transversal, para luego entrar al procesamiento determinado para entregar el metal valioso antes del drenaje (Pérez et al., 2014). Por otro lado, los depósitos de relaves cianurados deben tener un recubrimiento de geo membrana en la base para evitar las filtraciones al subsuelo y generar contaminación a las aguas subterráneas (MINEM, 2005).

Existen creadores que declaran técnicas para el aseguramiento del cianuro, las cuales están aprobadas por las directrices mundiales, siendo las más utilizadas (Restrepo et al., 2006):

- Refinación con NaOH: Consiste en volatilizar todos los tipos de cianuro y reunirlos con NaOH, a través del sistema de refinación y tener la opción de decidir el cianuro absoluto (Gaviria y Meza, 2006).
- Técnica espectrofotométrica: Consiste en decidir los cianuros como sales básicas solubles como extremos intrincados, típicamente utilizados en aguas residuales, potables y regulares.
- Técnicas potenciométricas: Consiste en involucrar un cátodo particular de partículas explícito para el cianuro en mezcla con un terminal de referencia y un potenciómetro con escala de milivoltios.
- Técnica volumétrica: El CN-presente en el ejemplo se valora con nitrato de plata (AgNO_3), a la vista de yoduro de potasio (KI) como puntero, para formar el complejo de cianuro soluble ($\text{Ag}(\text{CN})_2^-$). Cuando todo el CN- está acomplejado y hay un poco de sobreabundancia de plata (Ag^+) añadida, esta abundancia es reconocida por el puntero de yoduro de potasio (KI), que es delicado con la plata, y provoca un cambio en la disposición.

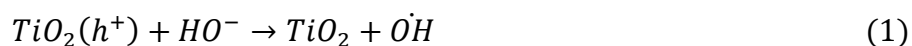
La corrupción o detoxificación del cianuro pretende disminuir la agrupación del cianuro libre a niveles que puedan ser absorbidos por las formas de vida vivas (Prieto et al, 2009) para lo cual se utilizan diversas estrategias.

El proceso de oxidación avanzada (POA) es un tratamiento inactivo, utilizado para el tratamiento de las aguas residuales del negocio de la minería, el material agrícola, el compuesto, la pintura, etc.; en vista del proceso de fotooxidación que contiene dos variaciones: Fotólisis y fotocatalisis (Machaca y Yana, 2017).

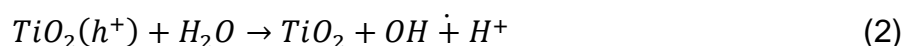
El proceso de oxidación de alto nivel es el desarrollo de revolucionarios hidroxilos (OH) profundamente receptivos con un alto potencial de oxidación. Los beneficios fundamentales de la interacción es la capacidad de la posibilidad de completar una oxidación profunda de las mezclas inorgánicas a las partículas como cloruros y nitratos, así como la utilización

de la energía directa, esencial, abundante y modesto en general siendo consumido por las mezclas de sustancias para entregar los procesos foto lógicos, filtrando a través de la obliteración de partículas de contaminación utilizando radiación brillante, un impulso y un semiconductor buscando el desarrollo de revolucionarios hidroxilos, estos extremistas crean un ciclo de oxidación en la capa externa de la molécula de impulso para esta situación TiO_2 (Duarte y Peñaranda, 2018).

La fotocatalisis heterogénea sobre dióxido de titanio (TiO_2) es un proceso muy concentrado, el TiO_2 es un ímpetu que amplía la tasa de respuesta sin cambiar el equilibrio, permitiendo la evacuación del veneno cuando el ímpetu es iluminado por la luz UV donde se crean los extremos (OH); esto sucede cuando la fuente de energía energiza un electrón comenzando desde la baja energía (banda de valencia) a la alta energía (banda de conducción), iniciando una apertura positiva en la banda principal, como se muestra en el componente de abajo: (Gómez y Sarria, 2009).



Este hueco al entrar en contacto con el (H_2O) o con un ion OH^- , produce los radicales hidroxilos ($\dot{O}H$).



Las sustancias venenosas se ajustan, convirtiéndose en sustancias inocuas y biodegradables para el clima (Gómez y Sarria, 2009).

Es vital, para comprobar los problemas ecológicos, aplicar medicinas desprendidas, por ejemplo, la fotocatalisis para la desintoxicación de tóxicos, en la que se crean respuestas para oxidar la materia natural o para disminuir los cationes metálicos como se ha definido anteriormente. Siendo el dióxido de titanio utilizado como un fotocatalizador de tipo anatasa, por ser excepcionalmente eficaz en una desintoxicación foto catalítica, un semiconductor de tipo agujero, que se revela con un 5% de frecuencias de energía solar por debajo de 400 nm. (Cesare et al., 2003)

El dióxido de titanio es una sustancia inorgánica blanca, no combustible, no dañina y fuerte. No es extremadamente disolvente y no se denomina peligrosa como indica la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Tiene magníficas propiedades de dispersión de la luz y retiene la luz ultravioleta, cuando se integra un color de TiO_2 en un polímero, se limita la degradación de la estructura por fragilidad, manchado y rotura. (Tuesta y Gutarra, 2004)

El dióxido de titanio se hace con toda la intención de ampliar la cantidad de partículas esenciales en el ámbito de 200-350 nm, estas por lo tanto en partículas ultra finas llamadas nano partículas más modestas de 100nm, que son directas y más exitosas en la fotocatalisis UV, siendo este elemento primario de seguro para los protectores solares. Hay que tener en cuenta que cuando los colores del TiO_2 se consolidan en un polímero, el límite de corrupción del marco a causa de la fragilización, la tinción o la rotura disminuye.

El dióxido de titanio se fabrica con toda la intención de aumentar la cantidad de partículas esenciales en el ámbito de 200-350 nm, éstas por tanto en partículas ultrafinas llamadas nano partículas más modestas de 100nm, que son sencillas y más potentes en la fotocatalisis UV, siendo este elemento principal de seguridad para las cremas solares (Arroyave et al., 2007). Hay que tener en cuenta que cuando los colores del TiO_2 se integran en un polímero, el límite de degradación de la estructura a causa de la fragilidad, las manchas o la rotura disminuye (Guarín y Mera, 2011).

La convergencia del dióxido de titanio, utilizado como impulso en la estrategia de desintoxicación del cianuro por fotocatalisis con la radiación UV, donde se utiliza la energía del sol como fuente de fotones creando fondos de inversión de energía, estos procesos de oxidación de alto nivel POAs son ozono/luz UV, H_2O_2 /luz UV, ultrasonido, fotocatalisis heterogénea, homogénea y terapias electroquímicas (Gómez et al., 2009).

Los parámetros que influyen en el proceso de fotocatalisis con TiO_2 se pueden dar de forma cuantitativa y cualitativamente en el proceso de óxido – reducción foto catalítico, a continuación, los más importantes:

- pH: Proporción del nivel de causticidad o alcalinidad de una sustancia o una respuesta caracterizada como el logaritmo negativo de la convergencia de los hidrogeniones (Castro et al., 2018).
- Sólidos Suspendidos Totales que es la cantidad de material (partículas) que se mantiene en la estela de realizar la filtración de un volumen de agua Tienen una medida aproximada de 5,0 μ a 1000 μ . (Lizarazo y Orjuela, 2013).
- Cianuro Total: Comprende el cianuro presente en la disposición, en la totalidad de sus estructuras, incluyendo los cianuros estables (Gaviria y Meza, 2006).
- Arsénico, Cadmio, Cromo hexavalente, Cobre, Hierro (descompuesto), Plomo, Mercurio y Zinc absoluto.
- Cuerpo: Registro de contaminación del agua que aborda la sustancia bioquímicamente degradable en el agua (Colombia, 2003).
- DQO: Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para deteriorar las sustancias naturales en cinco días a una temperatura de 20 grados centígrados. Es una proporción del límite de contaminación de un agua residual que muestra la cantidad de oxígeno pulido en 5 días por los microorganismos en la corrupción de alto impacto de la materia natural que contiene. (Araujo y Morales 2004).

Las aguas residuales del movimiento minero contienen una gran cantidad de sustancias tóxicas que impactan en el medio ambiente, debido a la distinción de condiciones como la nocividad, el olor, la variedad, así como los límites de paso.

Estas aguas residuales han sido generalmente tratadas por técnicas regulares, que se han vuelto insuficientes en los últimos tiempos, debido a factores externos, por ejemplo, la expansión en el interés del agua, tanto humana como moderna, y que implica una expansión en la corriente a tratar.

Las aguas residuales de la minería del oro o efluentes auríferos son el resultado de la técnica más implicada en la extracción de oro en el negocio minero, el drenaje con cianuro, ya que recuperar el oro de minerales

complejos obstinados no es ciertamente una interacción sencilla y la cianuración es la que muestra los mejores resultados, siendo una estrategia ecológicamente muy arriesgada (Viña, 2021).

La normativa peruana establece que cualquier planta de procesamiento de minerales que realice la descarga de efluentes líquidos a cuerpos naturales, no debe de exceder los límites máximos permisibles establecidos en el D.S 010-2010-MINAM, tal como lo indica la Tabla 1.

Tabla 1

Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes Líquidos de actividades minero.

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH.	-	6-9	6-9
Sólidos totales en suspensión.	mg /L	50	25
Aceites y grasas	mg /L	20	16
Cianuro total.	mg /L	1	0.8
Arsénico total	mg /L	0.1	0.08
Cadmio total	mg /L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente	mg /L	0.1	0.08
Cobre total	mg /L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	mg /L	2	1.6
Plomo total	mg /L	0.2	0.16
Mercurio total	mg /L	0.002	0.0016
Zinc total	mg /L	1.5	1.2

Nota: Extraído del Ministerio del Ambiente (D.S. N° 010-2010-MINAM, 2010)

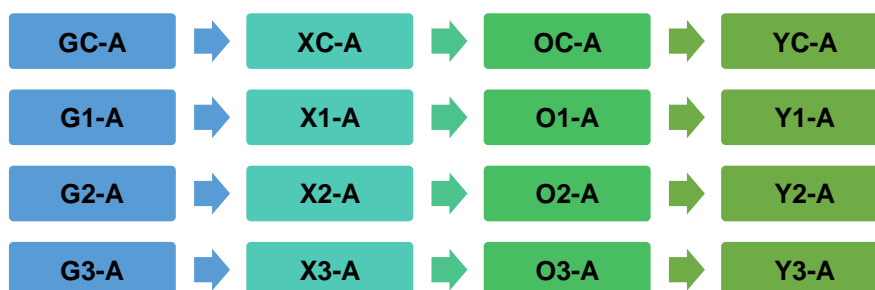
III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación del proyecto es aplicada porque se basa en investigaciones anteriores, con el objetivo de definir y llevar a cabo el proceso planteado (Hernández et al., 2014), cuantitativa porque se determinan datos cuantitativos sobre las variables; así mismo menciona que, la metodología utiliza la recolección y el análisis de los datos para contestar las interrogantes de la investigación y legitimar las teorías establecidas.

Hernández et al. (2014), indica que el diseño de investigación es experimental con el nivel cuasi experimental, debido a la manipulación intencional de la variable independiente (concentración de TiO_2), donde se evaluará la variable dependiente (degradación del cianuro) obteniendo el resultado de 12 muestras a nivel laboratorio, teniendo un grupo control y otro experimental. A continuación, el gráfico del diseño experimental.

GRUPO CONTROL PARA CIANURO



Donde:

GC-A, G1-A, G2-A, G3-A: Grupos que se emplearán en el proyecto de investigación.

- GC-A: Grupo o Muestra control (Agua residual contaminada con cianuro).
- G1-A: Muestra del Grupo experimental (Agua residual adicionando 400 ppm de TiO_2 utilizando la fotocatalisis).
- G1-A: Muestra del Grupo experimental (Agua residual adicionando 1600 ppm de TiO_2 utilizando la fotocatalisis).

- G1-A: Muestra del Grupo experimental (Agua residual adicionando 2000 ppm de TiO_2 utilizando la fotocatalisis).

Donde:

XC-A, X1-A, X2-A, X3-A: Son las Variables independientes

- XC-A: Variable independiente (agua residual sin dióxido de titanio).
- X1-A: Variable independiente (dióxido de titanio 400 ppm).
- X2-A: Variable independiente (dióxido de titanio 1600 ppm).
- X3-A: Variable independiente (dióxido de titanio 2000 ppm).

Donde:

OC-A, O1-A, O2-A, O3-A: Representa las observaciones

- OC-A: Observaciones obtenidas por las muestras del grupo control o blanco, que se registraron en la guía de observación.
- O1-A: Observaciones obtenidas por las muestras del grupo experimental, efectos apuntados en la guía de observación adicionando la concentración de 400 ppm de TiO_2 .
- O2-A: Observaciones obtenidas por las muestras del grupo experimental, efectos apuntados en la guía de observación adicionando la concentración de 1600 ppm de TiO_2 .
- O3-A: Observaciones obtenidas por las muestras del grupo experimental, efectos apuntados en la guía de observación adicionando la concentración de 2000 ppm de TiO_2 .

Donde:

YC-A, Y1-A, Y2-A, Y3-A: Variables dependientes

- YC-A: Variable dependiente (Porcentaje de cianuro en aguas residuales de la planta de beneficio de la empresa Fagsol).
- Y1-A: Variable dependiente (Porcentaje de degradación de cianuro en aguas residuales de la planta de beneficio de la empresa Fagsol usando 400 ppm de TiO_2).

- Y2-A: Variable dependiente (Porcentaje de degradación de cianuro en aguas residuales de la planta de beneficio de la empresa Fagsol usando 1600 ppm de TiO_2).
- Y3-A: Variable dependiente (Porcentaje de degradación de cianuro en aguas residuales de la planta de beneficio de la empresa Fagsol usando 2000 ppm de TiO_2).

3.2. Variables y Operacionalización

Variable independiente(cuantitativa): Concentración de dióxido de titanio a 400 ppm, 1600 ppm, 2000 ppm.

Definición conceptual: Es la cantidad creciente de un componente metálico que tiene actividad catalizadora en los procesos de oxidación foto catalítica, a los cuales también se les denomina foto sensibilizadores y existen una extensa variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos donde los más utilizados son: ión férrico y dióxido de titanio (Gómez y Sarria, 2009).

Definición Operacional: Se pesará y se añadirá al agua residual con cianuro, pasará por el proceso de fotocatalisis y finalmente se determinará la degradación del cianuro en el laboratorio acreditado.

Dimensiones e indicadores: Tiene como dimensión la concentración de TiO_2 y como indicador las cantidades de 400 ppm, 1600 ppm, 2000 ppm.

Escala de Medición: Es de razón y se pesará en una balanza de precisión.

Variable dependiente(cuantitativa): Degradación de cianuro

Definición Conceptual: Según Gaviria y Meza (2006), la degradación de cianuro en efluentes industriales mineros es disminuir la concentración de cianuro a niveles asimilables para los seres vivos; por otro lado, también se define como la oxidación y separación de enlaces covalentes de compuestos cianogénicos al cambio que ocurre mediante el proceso foto catalítico, obteniendo productos como

el cianato, siendo estos aproximadamente 1000 veces menos tóxicos que el cianuro (Quispe et al. 2011).

Definición Operacional: Determinar la cantidad de cianuro sobrante del proceso de fotocátalisis por TiO_2 respecto a la cantidad inicial en el agua residual de minería aurífera.

Dimensiones e Indicadores: Cuenta con sus respectivas dimensiones siendo uno la eficiencia de degradación que se medirá en porcentaje y la segunda dimensión es la concentración del cianuro con sus respectivos indicadores, el cual se determinará por colorimetría.

Escala de Medición: De razón

Tabla 2

Matriz de Operacionalización de Variables.

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala	Valor
Concentración de TiO2	Es la cantidad creciente de un componente metálico que tiene actividad catalizadora en los procesos de oxidación foto catalítica, los cuales también se les denomina foto sensibilizadores y existen una extensa variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos donde los más utilizados son: ion férrico y dióxido de titanio. (Gómez y Sarria, 2009)	Se pesará, se añadirá al agua residual con cianuro, pasará por el proceso de fotocatalisis y por consiguiente se determinará la degradación del cianuro en el laboratorio.	Dosis/Concentración de TiO2	Dosis 1: 0 ppm	De razón	<i>Balanza de precisión</i>
				Dosis 2: 400 ppm	De razón	
				Dosis 3: 1600 ppm	De razón	
				Dosis 4: 2000 ppm	De razón	
Degradación de Cianuro	Según (Gaviria y Meza, 2006), la degradación de cianuro en efluentes industriales mineros es disminuir la concentración de cianuro a niveles asimilables para los seres vivos; por otro lado también se define como la oxidación y separación de enlaces covalentes de compuestos cianogénicos al cambio que ocurre mediante el proceso fotocatalítico, obteniendo productos como el cianato, siendo estos aproximadamente 1000 veces menos tóxicos que el cianuro (Quispe et al., 2011).	Determinar la cantidad de cianuro sobrante del proceso de fotocatalisis por TiO2 respecto a la cantidad inicial caracterizada en el agua residual de minería aurífera.	Eficiencia de degradación	$\frac{CN\ inicial - CN\ final}{CN\ inicial} \times 100$	De razón	%
				Concentración del cianuro en aguas residuales de minería aurífera	Concentración inicial del cianuro en aguas residuales	De razón
			Concentración final del cianuro en aguas residuales		De razón	Volumetría

Nota: Elaboración propia

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

Aguas residuales de la empresa FAGSOL CONSTRUCTION S.A.C. provincia de Arequipa.

3.3.2. Muestra

Se utilizaron 80 litros de agua residual de la poza de relaves de la empresa FAGSOL CONSTRUCTION S.A.C.

3.3.3. Muestreo

Se utilizó el muestreo intencional. Unidad de análisis: 80 litros de agua para poder llevar a cabo el estudio correspondiente.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

La técnica de recolección de datos que se aplicó en el proyecto de investigación es la observación experimental (Tabla 3), la cual permitió la interacción del investigador para la reducción del cianuro mediante fotocatalisis con TiO_2 de los efluentes líquidos de la planta de beneficio de Fagsol Construction S.A.C.

Tabla 3*Técnicas e instrumentos de recolección de datos.*

Objetivo específico	Etapas	Técnicas	Instrumentos	Resultado
Caracterizar físicoquímicamente los efluentes líquidos tomados como muestra de la planta FAGSOL CONSTRUCTION S.A.C.	Ubicación de la planta Toma de muestra	Observación experimental	Ficha 1. Ubicación del lugar de muestreo Ficha 2. Datos de la Muestra	Lugar de estudio y coordenadas Características in situ de la muestra recolectada y características fisicoquímicas
Determinar el efecto de concentración de 400 ppm, 1600 ppm, 2000 ppm de TiO ₂ sobre la degradación foto catalítica de cianuro en aguas residuales de minería aurífera	Experimentación	Observación experimental	Ficha 3. Para recolección de datos experimentales	Degradación de cianuro en grupo control (blanco) y en el grupo experimental

Nota: Elaboración propia

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Para el proyecto de investigación, como instrumento, se utilizó la "Ficha de recolección de datos"; en ella se registraron los datos del lugar de muestreo y la toma de muestra, se utilizó este tipo de registro, porque es fiable y válido.

3.5. Procedimiento

3.5.1. Caracterización de la muestra

Para la recolección de la muestra se tomó 80 litros de agua residual de la relavera de la planta de beneficio FAGSOL CONSTRUCTION S.A.C., de los cuales para la muestra inicial y para su posterior análisis en laboratorio, se realizaron los siguientes pasos:

- Se procedió a colocar los EPP 's correspondientes (guantes de nitrilo, mandil de laboratorio, casco de seguridad y barbijo).
- Se procedió a agitar el pozo para la obtención de una muestra homogénea.
- Se tomaron muestras de tres puntos (Figura 1), se homogeneizó y se envasó en un recipiente de plástico con una capacidad de 90ml (Figura 2), los cuales posteriormente fueron rotulados según los datos descritos de la Tabla 4.
- Finalmente se procedió a enviar la muestra al laboratorio Analíticos del Sur E.I.R.L., para su respectivo análisis de parámetros físico químicos según D.S. N° 010-2010-MINAM (Tabla 01).

Figura 1

Toma de muestra de agua residual



Nota. La figura expone la toma de muestra de agua residual de uno de los tres puntos.

Figura 2

Muestras tomadas y envasadas en recipientes de plástico.



Nota. La figura expone las muestras tomadas, envasadas y rotuladas en recipientes de plástico de 90ml.

Tabla 4

Datos de la toma de muestra.

Dirección	Socabaya 04012
Distrito	Socabaya
Provincia	Arequipa
Departamento	Arequipa
Coordenadas Geográficas	16°26'22.5"S 71°32'04.7"W

Nota: Las coordenadas se tomaron con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

3.5.2. Adecuación de la muestra para el tratamiento

Se procedió a realizar el filtrado de las impurezas, partículas en suspensión e insectos mediante el uso de un papel filtro de velocidad media (Figura 3), con el objetivo de preservar sus características y evitar la alteración de los resultados en el tratamiento del efluente contaminado.

Figura 3

Filtración de impurezas



Nota. La figura muestra el filtrado de impurezas mediante el uso de un papel de filtro de velocidad media.

3.5.3. Pesaje de TiO₂

Para determinar las concentraciones del catalizador dióxido de titanio TiO₂ Anatasa, se utilizó una balanza de precisión (Figura 4), pesando las cantidades de (0.4 g/L, 1.6 g/L, 2.0 g/L) como se aprecia en la Figura 5.

Figura 4

Instrumento, material y reactivo para el pesado



Figura 5

Pesado del catalizador dióxido de titanio (TiO₂)



3.5.4. Desarrollo de la experimentación

Primeramente, se realizó un análisis de la concentración inicial del cianuro, antes de realizar las réplicas. Seguidamente se tomó 6 litros del total de la muestra que fue el grupo control (sin catalizador) y se colocó en un tubo de boro silicato (Figura 6), el mismo procedimiento se realizó para las tres muestras a las que se les aplicó el catalizador dióxido de titanio en diferentes concentraciones cada una (Figura 7), posteriormente se procedió a encender el sistema de bombeo con una recirculación constante a un periodo de 6 horas y a una radiación de 60 Watts (Figura 8).

Figura 6

Llenado de la muestra de agua residual en los tubos de boro silicato



Nota. En la figura se muestra el llenado del tubo con la muestra de agua sin tratamiento

Figura 7

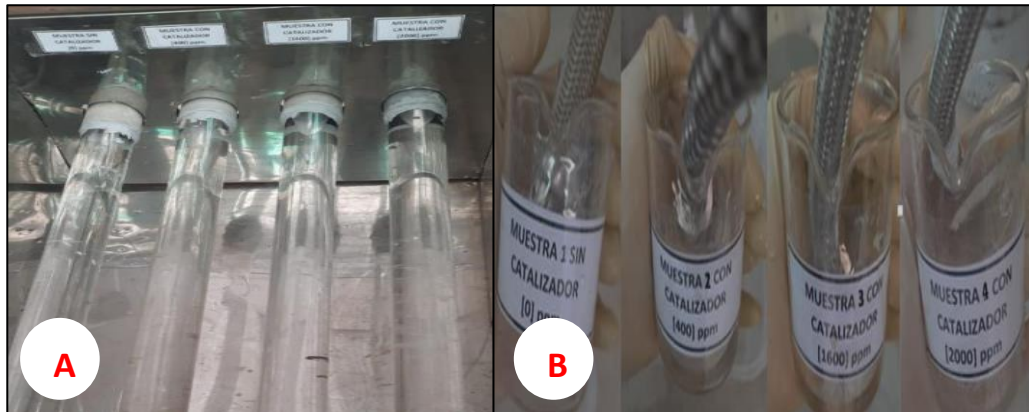
Llenado de los tubos con muestras de agua aplicando el tratamiento



Nota. En la figura se muestra los tubos llenos de muestra de agua residual con tratamientos de TiO_2 .

Figura 8

Muestras foto catalíticas



Nota. La figura A expone las muestras foto catalíticas al tiempo cero, la figura B expone las muestras foto catalíticas al tiempo de 06 horas.

A continuación, se muestra en la Figura 9, el fotorreactor que se utilizó para las experiencias, que constó de una estructura metálica con material reflectante (acero inox), con 4 tubos de boro silicato, un largo de 60cm, instalados paralelamente con sus respectivas lámparas de 60watts, a nivel de laboratorio para las respectivas pruebas experimentales de radiación UV (Figura 10).

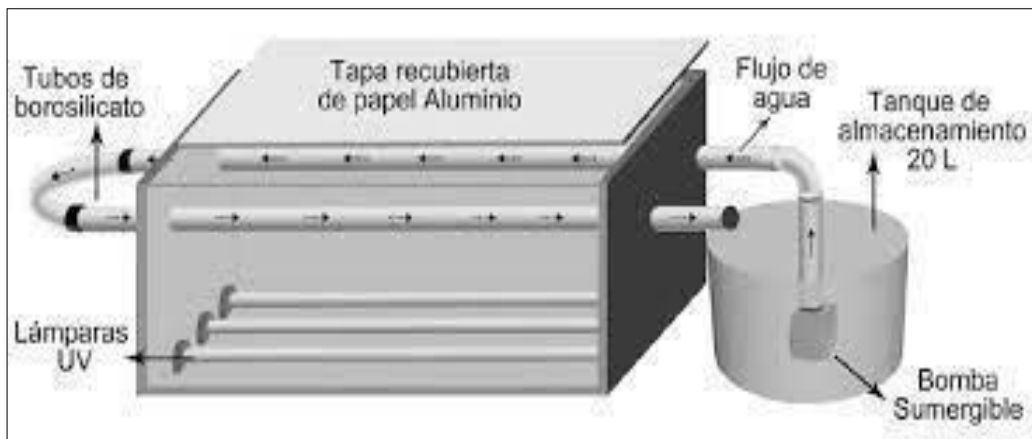
Figura 9

Fotorreactor utilizado para el desarrollo de la experimentación



Figura 10

Esquema del sistema foto catalítico de recirculación iluminado con lámpara UV



Nota: Adaptado de "Esquema del sistema foto catalítico de recirculación iluminado con lámparas UV" (305-319), por Pinedo et al., 2017, Ingeniería y Desarrollo 35(2).

3.5.5. Tratamiento

Se ensayaron 4 tratamientos en un diseño completo al azar con tres repeticiones dando lugar a 12 tratamientos (Tabla 5).

Tabla 5

Tratamiento con catalizador a dosis creciente.

Código	N° de ensayo	TiO ₂ (ppm)
A1	1	0.0
A2	2	0.0
A3	3	0.0
B1	4	400
B2	5	400
B3	6	400
C1	7	1600
C2	8	1600
C3	9	1600
D1	10	2000
D2	11	2000
D3	12	2000

Nota. Elaboración propia.

3.5.6. Almacenamiento de las muestras después del tratamiento

Culminado el periodo, se almacenaron las muestras control y las experimentales en vasos de precipitado (Figura 11, 12 y 13), y por último se determinó por análisis volumétrico el CN degradado.

Figura 11

Muestras de la réplica 1 a diferentes concentraciones de TiO₂



Figura 12

Muestras de réplica 2 a diferentes concentraciones de TiO₂



Figura 13

Muestras de la réplica 3 a diferentes concentraciones de TiO₂



3.6. Método de análisis de datos

En el presente proyecto de investigación se utilizó la estadística inferencial mediante el análisis de varianza para el diseño completo al azar y la prueba de Duncan al 95% de confiabilidad para contrastar los promedios entre tratamientos luego de encontrarse diferencia en el análisis de varianza.

3.7. Aspectos éticos

El proyecto de investigación es auténtico, respetando a los autores originales y a la propiedad intelectual, citándolos de manera adecuada. Cuenta como fundamentos éticos de veracidad y honestidad validando toda información tal como lo exige la Resolución del Consejo Universitario N° 0262-2020/UCV con promulgación, el 28 de agosto del 2020.

IV. RESULTADOS

4.1. Características fisicoquímicas de la muestra de agua antes de tratar.

Se puede observar en la caracterización inicial de la muestra antes de aplicar el filtrado y el proceso de foto degradación en un sistema foto catalítico de recirculación iluminado con lámparas UV que el cianuro total se encuentra en una concentración de 350 ppm, con pH 9.19 y con sólidos en suspensión en 30.27 ppm (Tabla 6).

Tabla 6

Caracterización fisicoquímica de la muestra tomada de la relavera de la planta de beneficio FAGSOL CONSTRUCTION S.A.C.

Parámetro	Técnica	Concentración inicial de la muestra*	LMP D.S 010-2010-MINAM*
pH	Potenciómetro	9.19	6-9
SST	Turbimetría	30.27	50
Arsénico total	ICP-OES Digestión multi-ácida	^a <0,01	0.1
Cadmio total	ICP-OES Digestión multi-ácida	^a <0,0020	0.05
Cromo VI	ICP-OES Digestión multi-ácida	^a <0,01	0.1
Cobre total	ICP-OES Digestión multi-ácida	1406	0.5
Hierro disuelto	ICP-OES Digestión multi-ácida	4,59	2
Plomo total	ICP-OES Digestión multi-ácida	0,799	0.2
Zinc	ICP-OES Digestión multi-ácida	2,343	1.5
Cianuro total	Volumetría	350	1

Nota: *Las unidades han sido expresadas en partes por millón (ppm).

4.2. Degradación foto catalítica de cianuro total mediante diferentes dosis de dióxido de titanio

Mediante el programa Statgraphics, se calculó el análisis de varianza para los valores del cianuro degradado por efecto de la dosis de TiO_2 (Tabla 7) donde se muestra que la variable dosis de TiO_2 tiene influencia en la degradación del cianuro (CN). La varianza ANOVA demuestra que de acuerdo al tratamiento utilizado (F: 8285.55; P – valor P = 0.0000 < 0.05), existe una diferencia estadísticamente significativa entre, la medida de cantidad degradada entre un nivel de dosis de TiO_2 y otro, con un nivel de confianza del 95%. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes se empleó el método de comparación múltiple de Duncan, con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 7

Análisis de varianza ANOVA de la cantidad degradada para cada nivel de dosis de TiO_2

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Dosis de TiO_2	190568.0	3	63522.5	8285.55	0.0000
Error	61.3333	8	7.6		
Total	190629.	11			

Nota: El valor-P 0.0000 es significativo si es menor a 0.005.

Se puede observar que la mayor degradación de CN se dio con una dosis de 1600 ppm de TiO_2 y en un periodo de 06 horas, degradando **326.94 ppm** de cianuro. Siendo el menos óptimo la cantidad de 400ppm de TiO_2 degradando 259.727 ppm de cianuro. Cabe mencionar que sin la adición del catalizador en una muestra control se logró solo una degradación del **20.6067** ppm de cianuro (Figura 14), demostrando que la concentración del catalizador dióxido de titanio es un factor que influye notablemente en la degradación del compuesto contaminante (Tabla 9).

Tabla 8

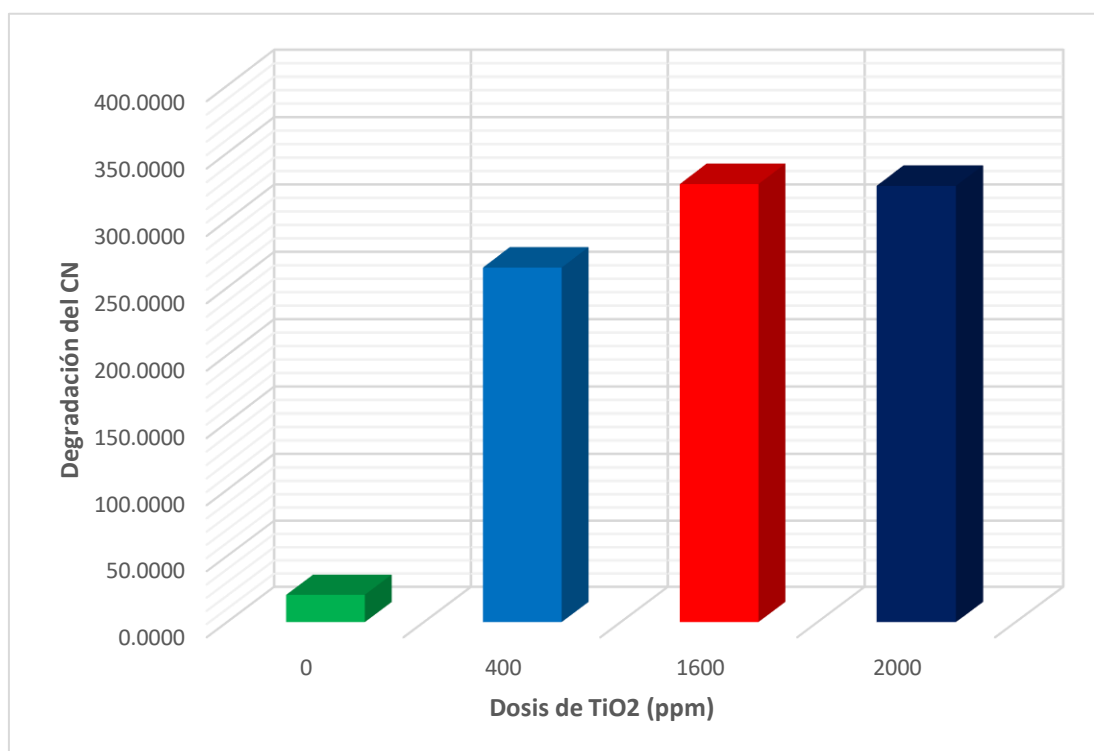
Degradación experimental del cianuro por efecto de dosis de TiO2

<i>Dosis Tio2 (ppm)</i>	<i>Media</i>	<i>Límite Inferior</i>	<i>Límite Superior</i>
0	18.0 a	15.3933	20.6067
400	262.3 b	259.727	264.94
1600	324.3 c	321.727	326.94
2000	323.0 c	320.393	325.607

Nota. letras diferentes representan medias estadísticamente diferentes tras la comparación de medias de Duncan.

Figura 14

Gráfico de barras de la degradación experimental del cianuro por efecto de dosis de TiO2



Nota. Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

Respecto al objetivo de la investigación de evaluar el efecto de concentraciones de 0.0 ppm, 400 ppm, 1600 ppm y 2000 ppm de TiO_2 sobre la degradación foto catalítica de cianuro en aguas residuales de minería aurífera los resultados demuestran que la concentración inicial del cianuro total presente en las aguas residuales de la planta de beneficio FAGSOL CONSTRUCTION S.A.C. fue de 350 ppm con pH de 9.19 concentración de cianuro por encima de la normativa peruana; del mismo modo Amat et al. (2008) en su investigación realizaron el análisis en muestras reales obteniendo 120 ppm de CN libre, 850 ppm de CN complejo y 10.9 de pH, observando así que la concentración de cianuro en muestras reales son sumamente altas a comparación de las muestras sintéticas que son manejados en su mayoría en una concentración de 100 ppm como en las investigaciones de Barbosa y Castro (2012) donde aplican 100 mg de cianuro y de igual manera en la investigación de Amat et al. (2008) donde utilizaron agua sintética con 100 ppm de cianuro ajustada a un pH de 12.

Las concentraciones del catalizador se determinaron luego de revisar diferentes autores los cuales utilizaron dosis entre 0.5, 1, 1.5 (g/L) como Vargas y Cuesta (2009); 0.2 hasta 3 (g/L) Mestre et al. (2020) y 0.2, 0.5, 1 (g/L) Amat et al. (2008), es por ello que se utilizaron las dosis 0.4, 1.6 y 2 (g/L) de TiO_2 . Para Giraldo et al. (2004) a mayores cantidades del catalizador mayor será la eficiencia de degradación obtenida, sin embargo, aumentará también las partículas lo que ocasionará una mayor turbidez obstruyendo el paso de la luz UV manteniéndose en un punto de equilibrio la degradación del cianuro.

Finalmente la mayor degradación del cianuro ocurrió con la dosis de 1.6 g/L o 1600 ppm degradando 326.94 ppm de CN en un periodo de 6 horas, obteniendo un 92,57% de la degradación del compuesto, lo cual concuerda con la dinámica de los resultados de Mestre 2020 que tuvo muestras reales con una concentración de 72.64 ppm de cianuro total y diferentes dosis de dióxido de titanio consiguiendo degradar hasta un 55,76% con una concentración de 0.3 g/L de TiO_2 en un periodo de 4 horas.

Por otro lado, pese a obtener mayores porcentajes de cianuro degradado este no cumple con lo establecido en el Decreto Supremo N 010-2010-MINAM, ya que la norma exige 1 ppm de CN total para la descarga de efluentes líquidos mineros. Sin embargo, la fotocátalisis resulta ser muy prometedor para eliminar el cianuro en aguas residuales mineros e industriales, sugiriendo así mismo que probablemente se requiere mayor tiempo de exposición a la radiación UV para alcanzar una disminución en la concentración de cianuro.

Posiblemente exista cambios en un futuro en relación al método de fotocátalisis, ya que este proceso se fue innovando desde los años 80 debido a que es una alternativa sumamente viable para la degradación del cianuro y otros compuestos altamente tóxicos presentes en efluentes líquidos, tal como lo indica Garcés et al. en el 2004; lo cual concuerda con la presente investigación.

VI. CONCLUSIONES

- Las características físico químicas de la muestra tomada de la relavera de la planta de beneficio Fagsol Construction S.A.C. tuvo una concentración inicial de cianuro total de 350ppm, pH 9.19, SST 30.27 ppm, Cu total 1406 ppm, Hierro disuelto 4.59 ppm, Pb total 0,799 ppm y Zinc 2,343 ppm, encontrándose una alta concentración de CN total sobrepasando los LMP establecidos por el MINAM.
- Respecto a la dosis creciente del catalizador se demostró que la dosis de 400ppm tuvo una menor degradación del cianuro y las dosis 1600 y 2000 ppm obtuvieron una degradación casi similar, sin embargo, con la dosis de 1600 ppm se obtuvo una mayor degradación llegando a un punto de equilibrio y que al aumentar la concentración del catalizador no hubo mayor degradación.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda extender el tiempo de exposición a la radiación UV para una mayor degradación del cianuro.
- El método de fotocatalisis heterogénea para la degradación del cianuro de aguas residuales mineros es de suma importancia, por lo que se recomienda la aplicación industrial.
- Se recomienda utilizar el dióxido de titanio en diferentes fases y diferentes dosis para la degradación el cianuro.

REFERENCIAS

- Amat, A., Arques, A., Santos-Juanes, L., Silvestre, M., & Vicente, R. (2008). Eliminación de efluentes industriales cianurados. In I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. España.
- Arroyave Rojas, J. A., Garcés Giraldo, L. F., & Cruz Castellanos, A. F. (2007). Fotodegradación de las aguas residuales con pesticida Mertect en la industria bananera empleando Fotocatálisis con Dióxido de Titanio y Lámpara de Luz Ultravioleta. "Revista Lasallista de investigación", 4(1), 7-13.
- Araujo, I., & Morales, E. (2004). En la remoción de nitrógeno, fósforo y DQO de aguas residuales urbanas de Maracaibo, Venezuela."Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas", 38(2), 94-108.
- Barbosa, A., & Castro, M. (2012). Estudio catalítico comparativo de los sistemas TiO_2 y $Nb_2O_5 \cdot 3H_2O$ en la degradación de cianuro en función del tipo de oxidante. Ingeniería y Ciencia, 8(16), 257-280.
- Caicedo, D., Schadach, I., & Betancourt, L. (2020). Degradación fotocatalítica de ferricianuro como agua residual sintética de minería de oro usando TiO_2 asistida por H_2O_2 . REM - Revista Internacional de Ingeniería, 73(1).
- Chiang, K., Amal, R., & Tran, T. (2002). Photocatalytic degradation of cyanide using titanium dioxide modified with copper oxide. Advances in Environmental Research, 6(4), 471-485.
- Coronel, S., Endara, D., Lozada, A., Manangón, L., & De la torre, E. (2021). Estudio fotocatalítico de oxidación de cianuro utilizando compuestos de carbón activado con dióxido de titanio (TiO_2) en un fotorreactor de flujo continuo. Catalizadores, 11(8), 924.
- Chung, B. (2008). Control de los contaminantes químicos en el Perú. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 25(4), 413-418.
- Eskandari, P., & Farhadian, M. &. (2017). Performance enhancement and optimization of photocatalytic cyanide degradation in aqueous solution using Zn (II) and Fe (III) oxides as nanostructure supported on activated

- carbon. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(9), 2360-2368.
- Frank, S. N. (1977). Heterogeneous photocatalytic oxidation of cyanide and sulfite in aqueous solutions at semiconductor powders. *The journal of physical chemistry*, 81(15), 1484-1488.
- Fernández Pérez, B., Viña Mediavilla, J. J., Ayala Espina, J., & Ania, C. O. (2021). Eficacia del permanganato potásico en la degradación de cianuro y tiocianato en aguas residuales mineras. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 37.
- Gaviria, A., & Meza, L. (2006). Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, municipio de Marmato, Caldas. *Dyna*, 73(149), 31-44.
- Giraldo, L. F. G., Franco, E. A. M., & Arango, J. J. S. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de investigación*, 1(1), 83-92.
- Gómez, L., & Sarria, V. (2009). Fotodegradación heterogénea de bisfenol A en agua con dióxido de titanio. 32, 1164-1169.
- Guarín Llanes, C. Y., & Mera Benavides, A. C. (2011). Fotocatálisis heterogénea con TiO₂ para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol." *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*", 10(19), 79-88.
- Guerrero, J. (2005). Cianuro: Toxicidad y destrucción biológica. *El Ingeniero de minas*, 10(35), 22-25.
- Hernández, A., D., M., Coronado, J., Maira, A., Soria, J., Loddo, V., y otros. (2002). Ozone enhanced activity of aqueous titanium dioxide suspensions for photocatalytic oxidation of free cyanide ions. *Applied Catalysis B: Environmental*, 39(3), 257-267.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación sexta edición*. McGRAW-HILL, 600.

- Machaca Machacca, D. E., & Yana Hanco, P. (2017). Remoción de cianuro de aguas residuales minero metalúrgico por proceso de oxidación avanzada y fotocátalisis solar.
- Mestre, R., Marrugo, I., Correa, R., Turizo, C., & Baldiris, I. (2020). Degradation of Cyanide from Gold Mining Wastewater Using Photocatalysis. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 844(012012).
- Núñez, E., Hernández, A., Hinojosa, L., Guzmán, L., Villanueva, M., & Maya, L. (2019). Cyanide degradation in aqueous solution by heterogeneous photocatalysis using boron-doped zinc oxide. *Catalysis Today*, 328, 202-209.
- Pan, Y., Zhang, Y., Huang, Y., Jia, Y., & Chen, L. &. (2021). Synergistic effect of adsorptive photocatalytic oxidation and degradation mechanism of cyanides and Cu/Zn complexes over TiO₂/ZSM-5 in real wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 416(125802).
- Pérez, G. A., Coello, H. A., & Vilca, J. M. (2014). Determinación analítica por exposición a cianuro libre en efluentes mineros, planta artesanal poderosa Ananea–Puno. *Cátedra Villarreal*, 2(1).
- Pala, A., Politi, R., Kurşun, G., Erol, M., Bakal, F., Oner, G., y otros. (2015). Photocatalytic degradation of cyanide in wastewater using new generated nano-thin film photocatalyst. *Surface and Coatings Technology*, 271, 207-2016.
- Quispe, L., Arteaga, M. d., Cárdenas, E., López, L., Santelices, C., Palenque, E., y otros. (2011). ELIMINACIÓN DE CIANURO MEDIANTE SISTEMA COMBINADO UV/H₂O₂/TiO₂. *Revista Boliviana de Química*, 28(2), 113-118.
- Ramírez, A. V. (2010, March). Toxicidad del cianuro: Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre. In *Anales de la Facultad de Medicina* (Vol. 71, No. 1, pp. 54-61). UNMSM. Facultad de Medicina.
- Restrepo, O. J., Montoya, C. A., & Muñoz, N. A. (2006). Degradación microbiana de cianuro procedente de plantas de beneficio de oro mediante una cepa nativa de *P. fluorescens*. *Dyna*, 73(149), 45-51.


- Saleh, T. A., Gondal, M. A., & Drmash, Q. A. (2010). Preparation of a MWCNT/ZnO nanocomposite and its photocatalytic activity for the removal of cyanide from water using a laser. *Nanotechnology*, 21(49), 495705.
- Siboni, M. S., Samarghandi, M. R., Yang, J. K., & Lee, S. M. (2011). Photocatalytic removal of cyanide with illuminated TiO₂. *Water Science and Technology*, 64(7), 1383-1387.
- Soto-Benavente, M., Rodriguez-Achata, L., Olivera, M., Arostegui Sanchez, V., Colina Nano, C., & Garate Quispe, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49-59.
- Sernaque Aguilar, Y. A., Cornejo La Torre, M., Pierre Regard, J., & Mialhe Matonnier, E. L. (2019). Caracterización molecular de bacterias cultivables y no cultivables procedentes de pozas de lixiviación con cianuro. *Revista peruana de biología*, 26(2), 275-282.
- Tuesta, E. G., & Gutarra, A. (2004). Aplicaciones electrocrómicas y fotocatalíticas del dióxido de titanio. *Revcini*, 8(2), 32.
- Van Grieken, R., Aguado, J., & López, M. &. (2005). Photocatalytic degradation of iron–cyanocomplexes by TiO₂ based catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*, 55(3), 201-211.
- Vargas, X., & Cuesta, D. (2009). EFECTO DE LAS VARIABLES DE OXIDACIÓN DE CIANURO CON LUZ ULTRAVIOLETA USANDO TIO₂ COMO CATALIZADOR. *Umbral Científico* (15), 75-80.
- Zapata, G. Y. V. (2020). Problemas medioambientales de la minería aurífera ilegal en Madre de Dios (Perú). *Observatorio Medioambiental*, 23, 229.


ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala	Valor
Concentración de TiO2	Es la cantidad creciente de un componente metálico que tiene actividad catalizadora en los procesos de oxidación foto catalítica, los cuales también se les denomina foto sensibilizadores y existen una extensa variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos donde los más utilizados son: ion férrico y dióxido de titanio. (Gómez y Sarria, 2009)	Se pesará, se añadirá al agua residual con cianuro, pasará por el proceso de fotocatalisis y por consiguiente se determinará la degradación del cianuro en el laboratorio.	Dosis/Concentración de TiO2	Dosis 1: 0 ppm	De razón	<i>Balanza de precisión</i>
				Dosis 2: 400 ppm	De razón	
				Dosis 3: 1600 ppm	De razón	
				Dosis 4: 2000 ppm	De razón	
Degradación de Cianuro	Según (Gaviria y Meza, 2006), la degradación de cianuro en efluentes industriales mineros es disminuir la concentración de cianuro a niveles asimilables para los seres vivos; por otro lado también se define como la oxidación y separación de enlaces covalentes de compuestos cianogénicos al cambio que ocurre mediante el proceso foto catalítico, obteniendo productos como el cianato, siendo estos aproximadamente 1000 veces menos tóxicos que el cianuro (Quispe et al., 2011).	Determinar la cantidad de cianuro sobrante del proceso de fotocatalisis por TiO2 respecto a la cantidad inicial caracterizada en el agua residual de minería aurífera.	Eficiencia de degradación	$\frac{CN\ inicial - CN\ final}{CN\ inicial} \times 100$	De razón	%
			Concentración del cianuro en aguas residuales de minería aurífera	Concentración inicial del cianuro en aguas residuales	De razón	Volumetría
				Concentración final del cianuro en aguas residuales	De razón	Volumetría

Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

		FICHA 1: Formato de campo I				
Título	Efecto de concentraciones TiO ₂ sobre la degradación fotocatalítica del cianuro en aguas residuales de minería aurífera					
Línea de Investigación	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales					
Responsables	Cuti Merma Rosa Luz					
	Oblitas Huallpa María Elena					
Asesor	Richar Andi Solórzano Acosta					
UBICACIÓN						
Dirección	D, Socabaya 04012					
Distrito	Socabaya					
Provincia	Arequipa					
Departamento	Arequipa					
Coordenadas Geográficas	16°26'22.5"S 71°32'04.7"W					

		FICHA 2: Toma de muestra				
Título	Efecto de concentraciones TiO ₂ sobre la degradación fotocatalítica del cianuro en aguas residuales de minería aurífera					
Línea de Investigación	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales					
Responsables	Cuti Merma Rosa Luz					
	Oblitas Huallpa María Elena					
Asesor	Richar Andi Solórzano Acosta					
DATOS DE LA MUESTRA						
Código	Fecha Días	Hora Horas	Coordenada UTM	pH	Temperatura °C	Volumen
MR01	13/5/2022	9:30 a. m.	16°26'22.5"S 71°32'04.7"W	9.19	17.2	90
MR02	14/5/2022	9:30 a. m.	16°26'22.5"S 71°32'04.7"W	9.19	17.2	90
MR03	15/5/2022	9:30 a. m.	16°26'22.5"S 71°32'04.7"W	9.19	17.2	90

FICHA 3 : Recolección de datos experimentales

Título	Efecto de concentraciones TiO ₂ sobre la degradación fotocatalítica del cianuro en aguas residuales de minería aurífera					
Línea de Investigación	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales					
Responsables	Cuti Merma Rosa Luz Oblitas Huallpa María Elena					
Asesor	Richar Andi Solórzano Acosta					
DATOS DE LA MUESTRA						
N de prueba	TiO ₂ ppm	Tiempo Horas	CN° ppm	CN ppm	CN promedio	Promedio eficiencia %
1	0	6	350	330	332	5.14
				329		
				337		
2	400	6	350	90	88	74.86
				85		
				88		
3	1600	6	350	25	26	92.57
				24		
				28		
4	2000	6	350	27	27	92.29
				28		
				26		

Anexo 3. Análisis de laboratorio



MZA. G6 LOTE. 5 URB. FRANCISCO MOSTAJO (DETRÁS DE SEDAPAR)
AREQUIPA-AREQUIPA-AREQUIPA

ANALISIS DE LABORATORIO

SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Fecha de emisión: 21/05/2022

Método ensayado

Método Turbidimetría

Código Interno	Nombre de muestra	Turbidez (NTU)	Turbidez (ppm)
MR01	Muestra de relave	90.8	30.27

..... Fin del informe

Mg. Ing. Alonzo Pérez Méndez
INGENIERO QUÍMICO

MG. ING. Alonzo Pérez Méndez

Ingeniero Químico



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-22-00250

Fecha de emisión: 18/05/2022

Página 1 de 1

Clave generada : 980E29FA

Señores: FAGSOL CONSTRUCTION S.A.C.
Dirección: MZA. G6 LOTE. 5 URB. FRANCISCO MOSTAJO (DETRAS DE SEDAPAR) AREQUIPA - AREQUIPA - AREQUIPA
Atención: FAGSOL CONSTRUCTION S.A.C.
Recepción: 13/05/2022
Realización: 13/05/2022
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

*952 Método de ensayo multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*952									
				Ag	Al	As	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
SS22000701	SOLUCION LIXIVIADA	No proporcionado por el cliente.	Solución de cianuro	6,603	0,6	≤0,01	6,29	≤0,08	≤0,01	74,42	≤0,0020	≤0,01	

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*952									
				Cr	Cu	Fe	Hg	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
SS22000701	SOLUCION LIXIVIADA	No proporcionado por el cliente.	Solución de cianuro	≤0,01	1406	4,59	≤0,00	151,68	0,44	3,82	≤0,08	≤0,01	1430

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*952									
				Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Ti	Tl	
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
SS22000701	SOLUCION LIXIVIADA	No proporcionado por el cliente.	Solución de cianuro	≤0,01	1,299	0,799	≤0,01	≤0,01	≤0,4	1,251	≤0,01	≤0,01	

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*952	
				V	Zn
				ppm	ppm
SS22000701	SOLUCION LIXIVIADA	No proporcionado por el cliente.	Solución de cianuro	0,101	2,343

Fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

ANÁLISIS DE CIANURO POR VOLUMETRIA

Fecha de emisión: 03/06/2022

Método ensayado

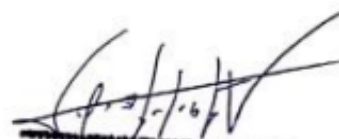
Método Volumetría

TUBO 1

PRUEBA 1

Código Interno	Nombre de muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de muestra	[TiO ₂] (ppm)	[CN] ^o (ppm)	[CN] (ppm)
MSC11	Muestra sin Catalizador replica 1	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	0	350	330
MSC12	Muestra sin Catalizador replica 2	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	0	350	329
MSC13	Muestra sin Catalizador replica 3	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	0	350	337

..... Fin del informe



Mg. Ing. Alonzo Pérez Méndez
INGENIERO QUÍMICO

MG. ING. Alonzo Pérez Méndez

Ingeniero Químico

ANALISIS DE CIANURO POR VOLUMETRIA

Fecha de emisión: 03/06/2022

Método ensayado

Método Volumetría

TUBO 2

PRUEBA 2

Código Interno	Nombre de muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de muestra	[TiO ₂] (ppm)	[CN] ^o (ppm)	[CN] (ppm)
MC21	Muestra con Catalizador 2 replica 1	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	400	350	90
MC22	Muestra con Catalizador 2 replica 2	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	400	350	85
MC23	Muestra con Catalizador 2 replica 3	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	400	350	88

..... Fin del informe



Mg. Ing. Alonzo Pérez Méndez
INGENIERO QUÍMICO

MG. ING. Alonzo Pérez Méndez

Ingeniero Químico

ANÁLISIS DE CIANURO POR VOLUMETRIA

Fecha de emisión: 03/06/2022

Método ensayado

Método Volumetría

TUBO 3

PRUEBA 3

Código Interno	Nombre de muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de muestra	[TiO ₂] (ppm)	[CN] ^o (ppm)	[CN] (ppm)
MC31	Muestra con Catalizador 3 replica 1	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	1600	350	25
MC32	Muestra con Catalizador 3 replica 2	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	1600	350	24
MC33	Muestra con Catalizador 3 replica 3	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	1600	350	28

..... Fin del informe



Mg. Ing. Alonzo Pérez Méndez
INGENIERO QUÍMICO

MG. ING. Alonzo Pérez Méndez

Ingeniero Químico

ANALISIS DE CIANURO POR VOLUMETRIA

Fecha de emisión: 03/06/2022

Método ensayado

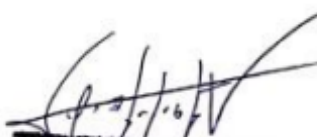
Método Volumetría

TUBO 4

PRUEBA 4

Código Interno	Nombre de muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de muestra	[TiO ₂] (ppm)	[CN] ^o (ppm)	[CN] (ppm)
MC41	Muestra con Catalizador 4 replica 1	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	2000	350	27
MC42	Muestra con Catalizador 4 replica 2	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	2000	350	28
MC43	Muestra con Catalizador 4 replica 3	Efluente del reactor Fotocatalítico	Efluente de cianuro	2000	350	26

..... Fin del informe



Mg. Ing. Alonzo Pérez Méndez
INGENIERO QUÍMICO

MG. ING. Alonzo Pérez Méndez

Ingeniero Químico