

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de ingeniería Ambiental



**Remoción de cromo (VI) de efluentes de curtiembre usando un
reactor electroquímico de mezcla completa**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Marcos Ronaldo Guillen Choque
Carlos Andres Ramos Cari

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, junio del 2024

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Juan Eduardo Vigo Rivera, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“REMOCIÓN DE CROMO (VI) DE AFLUENTES DE CURTIEMBRE USANDO UN REACTOR ELECTROQUÍMICO DE MEZCLA COMPLETA”** de los autores **Marcos Ronaldo Guillen Choque y Carlos Andres Ramos Cari** tiene un índice de similitud de 5 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 20 días del mes de junio del año 2024.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 20 día(s) del mes de junio del año 2021 siendo las 12:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del

(de la) presidente(a): Msc. Miguel Ansel Salcedo Enriquez, el (la) secretario(a): Ing. Nancy Curasi Rafael y los demás miembros: Msc. Loayda Abigail Condori Turpo Ing. Verónica Haydes Pari Tamani y el (la) asesor(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Remoción de cromo (VI) de efluentes de curtiembre usando un reactor electroquímico de mezcla completa

del(los) bachiller(es): a) Carlos Andres Ramos Cari
b) Marcos Ronaldo Guillen Choque
c)

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Carlos Andres Ramos Cari

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b): Marcos Ronaldo Guillen Choque

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior
Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma] Presidente/a
[Firma] Asesora
[Firma] Bachiller (a)
[Firma] Miembro
[Firma] Miembro
[Firma] Bachiller (b)
[Firma] Secretaria
[Firma] Miembro
[Firma] Bachiller (c)

DEDICATORIA

De Marcos a mi querida madre Gaby y apreciada hermana Gabriela.

De Carlos a mis apreciados padres Julia y Alberto.

AGRADECIMIENTOS

Al Mtro. Juan Eduardo Vigo por apoyarnos en todo el proceso de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	IX
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. MATERIALES Y MÉTODOS	15
2.1. Caracterización del efluente	17
2.2. Diseño del reactor de electroquímico.....	17
2.3. Pruebas experimentales	18
2.4. Diseño experimental.....	19
3. RESULTADOS	20
3.1. Resultados de la caracterización del efluente.....	20
3.2. Resultados del diseño del reactor electroquímico.....	20
3.3. Resultados de las pruebas experimentales	21
3.4. Resultados del diseño experimental	21
4. DISCUSIONES	28
4.1. Efectos de la intensidad de corriente	28
4.2. Efectos del tiempo de tratamiento	29
4.3. Efectos de la velocidad de rotación	30
4.4. Influencia del diseño del reactor	30
4.5. Influencia del pH.....	31
4.6. Comparación con la normativa nacional e internacional	32
5. CONCLUSIONES	35
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	36
7. ANEXOS.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Valores nominales de los factores de interés</i>	19
Tabla 2	<i>Resultado de las pruebas experimentales</i>	21
Tabla 3	<i>ANOVA del cromo VI</i>	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Flujograma de investigación</i>	16
Figura 2	<i>Vista isométrica del reactor electroquímico</i>	20
Figura 3	<i>Distribución normal de efectos estandarizados (la respuesta es Porcentaje de Remoción (R), $\alpha = 0.05$)</i>	23
Figura 4	<i>Diagrama de Pareto de efectos estandarizados (la respuesta es Porcentaje de Remoción (R); $\alpha = 0,05$)</i>	24
Figura 5	<i>Diagrama de probabilidad normal de los residuos (la respuesta es Porcentaje de Remoción (R); $\alpha = 0,05$)</i>	25
Figura 6	<i>Diagrama de optimización del porcentaje de remoción (Las líneas verticales rojas indican el máximo de remoción obtenida)</i>	26
Figura 7	<i>Diagrama de superficie del porcentaje de remoción del cromo VI vs. Tiempo e intensidad de corriente</i>	27
Figura 8	<i>Diagrama de superficie del porcentaje de remoción del cromo VI vs. pH e intensidad de corriente</i>	28
Figura 9	<i>Resultados de los tratamientos VS normativa nacional</i>	33
Figura 10	<i>Resultados de los tratamientos VS normas internacionales</i>	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Evidencia de sumisión de la tesis	40
Anexo 2. Copia de resolución de inscripción de perfil de proyecto de tesis	41
Anexo 3. Panel fotográfico	42
Anexo 4. Dibujos del diseño del reactor	44
Anexo 5. Resultados del análisis del laboratorio	47

Remoción de cromo (VI) de efluentes de curtiembre usando un reactor electroquímico de mezcla completa

RESUMEN

Esta investigación se enfoca en remover cromo VI de efluentes de la industria del curtido de cuero usando un reactor electroquímico, cumpliendo los estándares peruanos y evaluando los principales parámetros del proceso. Se diseñó y construyó un reactor con electrodos de acero de carbón en forma de anillos, funcionando como ánodo y cátodo, distribuidos en el tanque, junto con deflectores y un motor con impulsores tipo PBT para generar mezcla. Se aplicó un diseño estadístico Box-Behnken con tres factores: intensidad de corriente, tiempo de tratamiento y pH, usando como variable respuesta el porcentaje de remoción de cromo VI. El análisis de superficie respuesta mostró que las condiciones óptimas de las variables son: 2.17 A, pH de 4 y tiempo de 17.60 minutos. La remoción del cromo VI en 12 de 15 tratamientos por electrocoagulación supera el 90%. El análisis estadístico, con un 95% de confianza, reveló que los tres factores influyeron en el tratamiento. En conclusión, el reactor electroquímico diseñado es eficaz para la remoción de cromo VI, ofreciendo una solución viable para los problemas de contaminación de las curtiembres.

Palabras clave: remoción de cromo VI, reactor electroquímico, efluentes de curtiduría, diseño Box-Behnken, optimización de procesos

Removal of chromium (VI) from tannery effluents using a complete mix electrochemical reactor

ABSTRACT

This research focuses on removing chromium VI from effluents from the leather tanning industry using an electrochemical reactor, meeting Peruvian standards and evaluating the main process parameters. A reactor was designed and built with ring-shaped carbon steel electrodes, functioning as anode and cathode, distributed in the tank, along with baffles and a motor with PBT-type impellers to generate mixture. A Box-Behnken statistical design was applied with three factors: current intensity, treatment time and pH, using the percentage of chromium VI removal as the response variable. The response surface analysis showed that the optimal conditions of the variables are: 2.17 A, pH of 4 and time of 17.60 minutes. The removal of chromium VI in 12 of 15 treatments by electrocoagulation exceeds 90%. The statistical analysis, with 95% confidence, revealed that the three factors influenced the treatment. In conclusion, the designed electrochemical reactor is effective for the removal of chromium VI, offering a viable solution to the pollution problems of tanneries.

Keywords: hexavalent Chromium (Cr VI) removal, electrochemical reactor, leather tanning effluents, Box-Behnken design, process optimization.

1. INTRODUCCIÓN

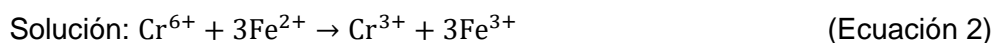
En los procesos de curtición, uno de los problemas principales se da durante su procesamiento, sólo una parte es transformada en cuero; el resto es eliminado bajo forma de desecho sólido o como efluente en solución, y en muchas ocasiones son vertidos sin tratar a cuerpos de aguas naturales y al alcantarillado (Porras Chávez, 2010). Por cada tonelada de cuero producido se generan entre 45 y 50 m³ de efluentes (Kanagaraj et al., 2015), estos efluentes se caracterizan por un alto contenido de sales, carga orgánica (DBO y DQO), sólidos en suspensión, amonio, nitrógeno, cromo y metales pesados (Chowdhury et al., 2013). Es así, como el cromo en sus diferentes presentaciones es el principal agente curtiente utilizado en el 95% de la producción de cuero, un gran porcentaje de cromo total utilizado en el curtido se libera como efluente, solo el 50% del cromo se adhiere eficazmente a la piel (Bacardit et al., 2008).

El cromo es un elemento esencial para humanos y animales ya que tiene una función preponderante en el metabolismo (Alvarado-Gómez et al., 2002), sin embargo, para las plantas son altamente tóxicos son perjudiciales sobre su crecimiento y desarrollo (Gonzales, 2016). En el medio ambiente se pueden encontrar de dos formas estables de cromo; el cromo trivalente (III) y el cromo hexavalente (VI). Este último es extremadamente tóxico ya que atraviesa fácilmente la membrana biológica y puede transportarse activamente al interior de las células (Gutiérrez C. et al., 2010), además, ha sido considerado un agente cancerígeno del grupo A por la Agencia Internacional la Investigación sobre el Cáncer (IARC) y por la agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U.S. EPA) (Mungasavalli et al., 2007; Nkhalambayausi-Chirwa y Wang, 2001). En cambio, el cromo III es relativamente inofensivo en solución, sin embargo, en altas concentraciones puede presentar los mismos efectos tóxicos que el cromo hexavalente (Gutiérrez C. et al., 2010). Es por eso que en la última

década se han desarrollado diversas técnicas eficaces, innovadoras y económicamente más accesibles que los tratamientos convencionales de aguas residuales para reducir el cromo.

El tratamiento electroquímico o electrocoagulación es una alternativa a los tratamientos convencionales de aguas residuales de curtiembres, que desde principios de este siglo está siendo aplicado eficazmente en América del Sur y Europa para el tratamiento de aguas residuales industriales con contenido de metales (Osorio Casquina y Juarez Calderon, 2019).

El tratamiento electroquímico consiste en inducir corriente eléctrica al agua residual a través de un reactor que puede estar formado por celdas metálicas electrolíticas con un ánodo y un cátodo, estas celdas pueden ser de hierro, aluminio u otros materiales. La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca las reacciones químicas que desestabilizan los iones contaminantes generándose un medio acuoso de agregados. Cuando esto ocurre, los iones contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan y/o flotan y se pueden remover fácilmente por algún método de separación de tipo secundario (Holt et al., 2005; Mollah et al., 2001; Morales Posada, 2005). El proceso electroquímico para la reducción de cromo hexavalente (Cr VI) a cromo trivalente (Cr III), lo lleva a cabo el ion ferroso (Fe II) liberado por el desgaste en el ánodo al paso de una corriente directa a través de electrodos de acero al carbono (Daneshvar et al., 2007). A continuación, se muestran las reacciones que ocurren durante el proceso electroquímico, cuando se utilizan electrodos de hierro.



La reacción (1) se produce en el ánodo al paso de corriente directa, liberando iones Fe (II) hacia el agua, donde ocurre la reducción de cromo VI, representada por la reacción (2), las reacciones (3) y (4) se llevan a cabo en la superficie del cátodo, en donde el Fe III resultante de la reducción del Cr VI se reduce en la superficie del electrodo, regenerando parte del Fe II requerido para la reducción del Cr VI presente en el agua, generando un proceso cíclico, que permite reducir el desgaste del electrodo de sacrificio, adicionalmente también se puede considerar que en la superficie del cátodo se presenta la reducción del Cr VI a Cr III (Daneshvar et al., 2007).

Luego que el Cr VI se reduce a Cr III, es necesario precipitar del Cr III y del Fe III que quedan en la solución, por lo que se ajusta el pH a valores en un intervalo de 7.0 a 7.5, esto debido a la baja solubilidad del hierro y el cromo a esos valores de pH. Los lodos generados no tienen características tóxicas y los productos principales presentes en estos son: Fe_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (Kongsricharoern y Polprasert, 1996).

Existen numerosos estudios sobre el uso del tratamiento electroquímico para la remoción de cromo hexavalente. En el 2015, Miriam Guadalupe et al. en su investigación sobre la optimización de procesos para el tratamiento de aguas residuales, observó que a medida que aumenta la intensidad de corriente, el tiempo de tratamiento electroquímico para la reducción de cromo hexavalente disminuye. Además, señaló que a valores más bajos de pH, el tiempo de tratamiento también se reduce, lo que implica un ahorro en los costos de tratamiento y en el consumo energético. En el 2003, Rodríguez G. en su estudio sobre la modelación, simulación y validación experimental del proceso electroquímico para la remoción de cromo hexavalente, determinó que la conversión forzada mediante electrodos rotativos incrementa la velocidad de reducción del cromo VI, disminuyendo el tiempo de tratamiento en comparación con el uso de electrodos de placas paralelas. Ambos estudios coinciden en que la remoción de cromo VI mediante tratamiento electroquímico depende principalmente del

tiempo de tratamiento, la intensidad de corriente aplicada, el pH de la solución y la velocidad de agitación, especialmente si se utilizan reactores giratorios. Además, varios de estos trabajos fueron realizados utilizando la metodología estadística de superficie de respuesta (RSM), que permitió optimizar y modelar los procesos de tratamiento de manera efectiva.

El diseño de Box-Behnken es un diseño de superficie de respuesta esférica y rotacional, que incluye un punto central y puntos intermedios entre las esquinas, distribuidos sobre una esfera. Este diseño es útil para la optimización de procesos químicos y físicos, donde el número de experimentos se determina según los requisitos específicos del proceso (Myers, 2016). Además, el diseño de Box-Behnken facilita la optimización de procesos multifacéticos al generar datos que se ajustan a un modelo descriptivo de respuesta dentro de una región experimental específica (Gutiérrez Pulido y Vara Salazar, 2012). Adicionalmente, permite minimizar el número de ensayos necesarios para evaluar diversos parámetros y sus interacciones, lo que resulta en la generación eficiente de un modelo matemático (Myers, 2016; Tak et al., 2015).

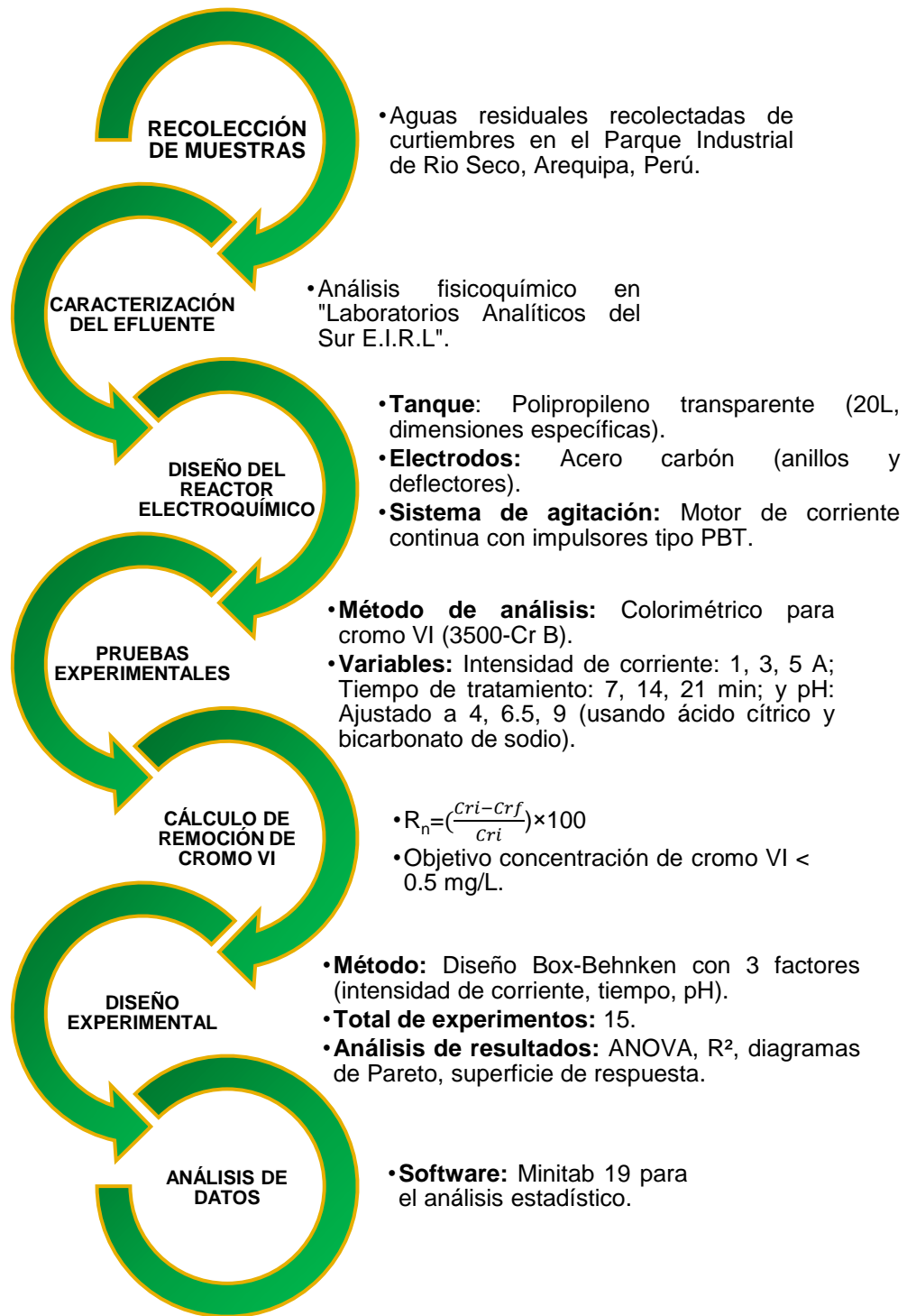
En esta investigación, se utilizó un reactor electroquímico basado en una configuración de cilindro rotatorio de mezcla completa, con el objetivo de remover el cromo VI de los efluentes generados en la industria del curtido de cuero, cumpliendo así con los estándares establecidos en la normativa peruana. Además, se evaluaron los factores más influyentes en el proceso de tratamiento y se optimizó la eficiencia de remoción mediante el diseño Box-Behnken, con el fin de maximizar la remoción de cromo VI y mejorar la eficiencia del proceso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la figura 1 se muestra los procesos necesarios para el tratamiento de cromo VI que plantea el presente estudio.

Figura 1

Flujograma de investigación



2.1. Caracterización del efluente

Las aguas residuales fueron recolectadas de las curtiembres del Parque Industrial de Rio Seco (PIRS) de la ciudad de Arequipa - Perú, estas aguas fueron sometidas a una caracterización fisicoquímicas inicial en el laboratorio acreditado "Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L".

2.2. Diseño del reactor de electroquímico

El diseño del reactor está basado en la configuración de un reactor de cilindro rotatorio (Reactor Cylinder Electrode, RCE), de anillos y deflectores tubulares propuestas por (S. A. Martinez-Delgadillo et al., 2011; Yáñez Varela, 2017). Para esta investigación las dimensiones y componentes de la unidad son descritos a continuación.

El tanque es de polipropileno transparente de 3 mm de espesor para evitar la corrosión por el contacto con los líquidos y la resistencia al paso de la electricidad, su forma circular es de 20 L de capacidad con dimensiones de altura de 20 cm, diámetro de 27cm y cuenta con una tapa del mismo material del tanque de 3 mm de espesor y 27 cm de diámetro, además, cuenta con una llave en la parte inferior del tanque que sirve como salida de agua para la toma de muestra.

Los electrodos son de acero carbón, que se expanden tridimensionalmente por todo el volumen del tanque para tener mayor área específica, está conformada por 8 anillos de 7 cm de diámetro, compuestos por barras de sección transversal circular con un diámetro de $\frac{1}{4}$ ", cuatro anillos funcionan como cátodos y cuatro como ánodos, los cuales están situados alternadamente con una distancia entre ellos de 1 cm, y están conectadas por cuatro barras de sección transversal rectangular con un ancho de $\frac{1}{4}$ ". Los electrodos son de acero al carbón, fijados en la tapa del tanque.

Además, el sistema cuenta con cuatro deflectores, que a la vez funciona como electrodos, y son de acero carbón. Estos deflectores tubulares están situados simétricamente

alrededor del tanque para evitar la formación del vórtice y para incorporar mayor área específica del electrodo. Cada deflector cuenta con dos barras de sección transversal circular de ¼”, una barra actúa como cátodo y la otra como ánodo al igual que los anillos, la distancia entre las barras es de 1 cm.

Por último, la mezcla del tanque es generada por un motor de corriente continua con impulsores tipo PBT (Pitched Blade Turbine) con palas inclinadas a 45° de 0.5 mm de espesor que están fijados a una flecha de acero, esta se encuentra en el fijada en el medio del tanque.

2.3. Pruebas experimentales

El tratamiento electroquímico se realizó utilizando agua recolectada de las curtiembres y para el análisis de cromo VI se empleó el método colorímetro el cual esta descrito en la edición 22 de los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales 3500-Cr B. El método colorimétrico se basa en la reacción del cromo hexavalente con 1,5-difenilcarbazida en medio ácido, lo que produce la formación de un compuesto desconocido de color rojo violeta. Éste puede ser medido espectrofotométricamente a una longitud de onda de 540 nm y la absorbancia es proporcional a la concentración de cromo en la muestra (APHA/AWWA/WEF, 2012).

Se realizaron las pruebas experimentales con las siguientes condiciones; se utilizó una fuente de poder variable mediante la cual se aplicaron valores de intensidad de corriente entre 1, 3 y 5A, se tomaron las muestras después de 7, 14 y 21 minutos de tratamiento, con muestras de agua con pH ajustadas a 4, 6.5 y 9, para reducir el pH de la muestra se utilizó ácido cítrico concentrado (C₆H₈O₇) y para aumentar se utilizó bicarbonato de sodio (NaHCO₃) y con un velocidad de agitación constante de 100 revoluciones por minuto (rpm).

Para medir el porcentaje de cromo VI removido se determinó de la siguiente manera:

$$R_n = \%R = \left(\frac{C_{fi} - C_{rf}}{C_{fi}} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde: R_n : porcentaje total de remoción de cromo VI

Cr_i : concentración inicial de cromo VI

Cr_f : concentración final de cromo VI

Una vez culminado los experimentos, se tomó las muestras de la parte media del reactor para enviar las muestras al laboratorio para su análisis respectivo.

Para considerar el tratamiento como finalizado, la concentración de cromo VI debe estar debajo de 0.5 mg/L, Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel del Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE.

2.4. Diseño experimental

Para comprobar la eficiencia del reactor electroquímico en el proceso de remoción de cromo VI, se empleó un tratamiento estadístico de diseño Box-Behnken con tres factores controlables, para un total de 15 experimentos. Los factores considerados en el diseño fueron; la intensidad de corriente (A), tiempo de tratamiento (B) y el pH (C), (Tabla 1), y como variable respuesta (R) se utilizó el porcentaje de remoción del cromo VI.

Los resultados fueron analizados considerando: el coeficiente de determinación, (R^2), el análisis de varianza (ANOVA), el diagrama de Pareto, diagramas de superficie de respuesta y diagramas de probabilidad normal de residuales.

La elaboración y análisis de los diseños experimentales fueron realizados con el software Minitab 19, versión gratuita.

Tabla 1

Valores nominales de los factores de interés

Representación	Factor	Denominación	Niveles		
			1	2	3
A	Intensidad de corriente	A (amperios)	1	3	5
B	Tiempo	min (minutos)	7	14	21
C	Potencial de hidrógeno	pH	4	6.5	9
R	Porcentaje de remoción de cromo VI	%			

3. RESULTADOS

3.1. Resultados de la caracterización del efluente

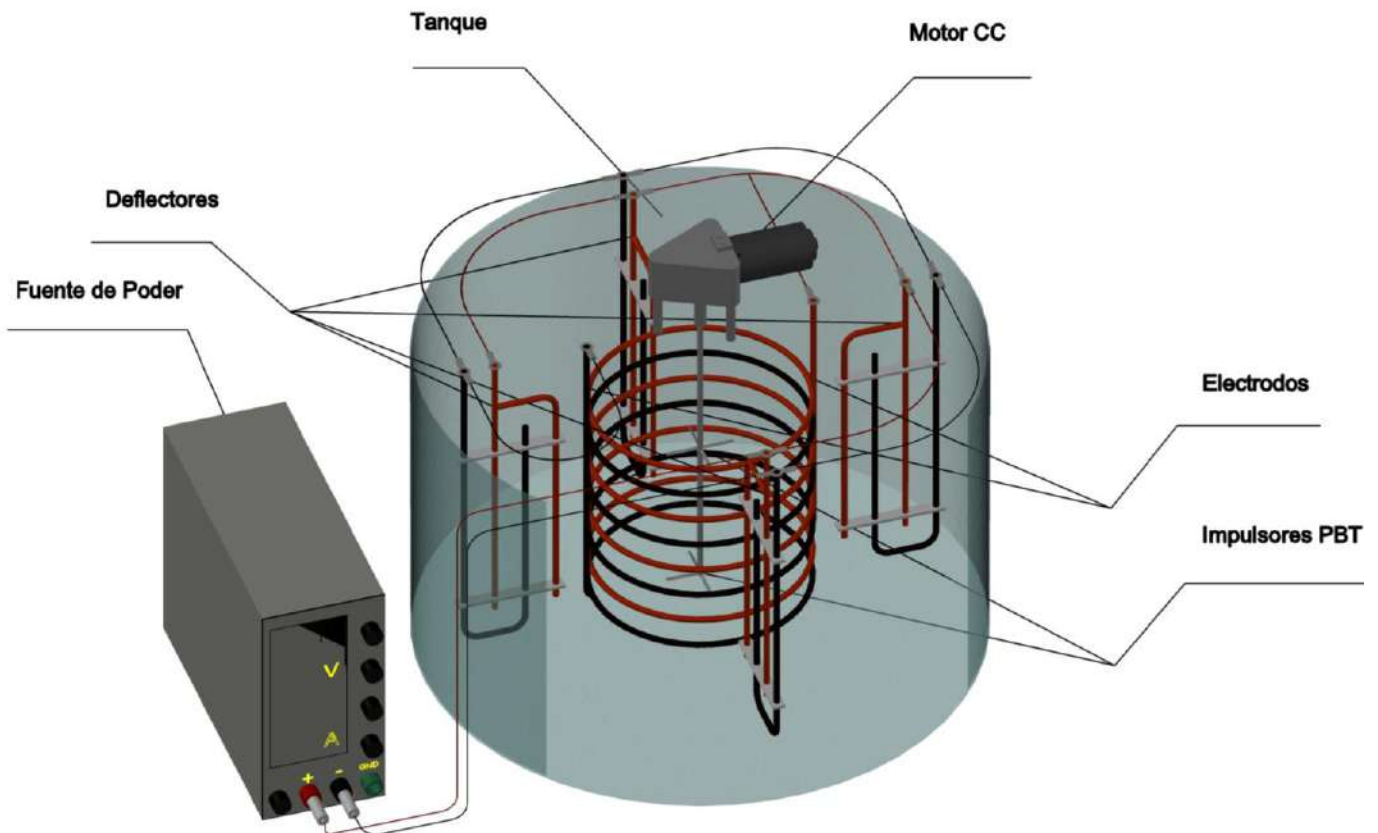
Los resultados de la caracterización inicial del efluente muestran que la concentración de cromo VI es de 7.17 mg/L, lo que supera el límite máximo permitido (LMP) de 0.5 mg/L establecido por el Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE. Además, el pH del efluente es de 6.5, lo que indica un entorno ligeramente ácido o neutro en el momento de la medición.

3.2. Resultados del diseño del reactor electroquímico

La figura 2 muestra el diseño del reactor electroquímico para la remoción del cromo VI.

Figura 2

Vista isométrica del reactor electroquímico



3.3. Resultados de las pruebas experimentales

Los detalles de las pruebas se presentan en la Tabla 2, la cual incluye un total de 15 experimentos, con un punto central. Además, los resultados muestran que, en 11 de estos experimentos, la remoción de cromo VI alcanzó un 99.9 %, indicando una alta eficiencia en el proceso de tratamiento.

Tabla 2

Resultado de las pruebas experimentales

N°	Factores			Cr VI mg/L		R Remoción de Cr VI (%)
	A (A)	B (min)	C (pH)	Inicial	Final	
1	3	14	6.5		<0.005	99.9
2	3	7	4		<0.005	99.9
3	3	7	9		1.291	82.0
4	5	14	9		<0.005	99.9
5	3	21	4		<0.005	99.9
6	5	21	6.5		<0.005	99.9
7	3	21	9		<0.005	99.9
8	3	14	6.5	7.17	<0.005	99.9
9	1	14	9		3.24	54.8
10	1	14	4		<0.005	99.9
11	5	7	6.5		<0.005	99.9
12	1	7	6.5		5.47	23.7
13	3	14	6.5		<0.005	99.9
14	1	21	6.5		0.464	93.5
15	5	14	4		<0.005	99.9

3.4. Resultados del diseño experimental

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el porcentaje de remoción de cromo VI, como se presenta en la Tabla 3, muestra que los factores y las interacciones con una probabilidad menor a 0.05 son estadísticamente significativos. Específicamente, los factores A y B, así como las interacciones AA, BB, AB y AC, fueron identificados como factores que influyen significativamente en la eficiencia de remoción, además, el modelo presenta un coeficiente de correlación R^2 ajustado = 93.66 %, lo que indica un buen ajuste.

Tabla 3*ANOVA del cromo VI*

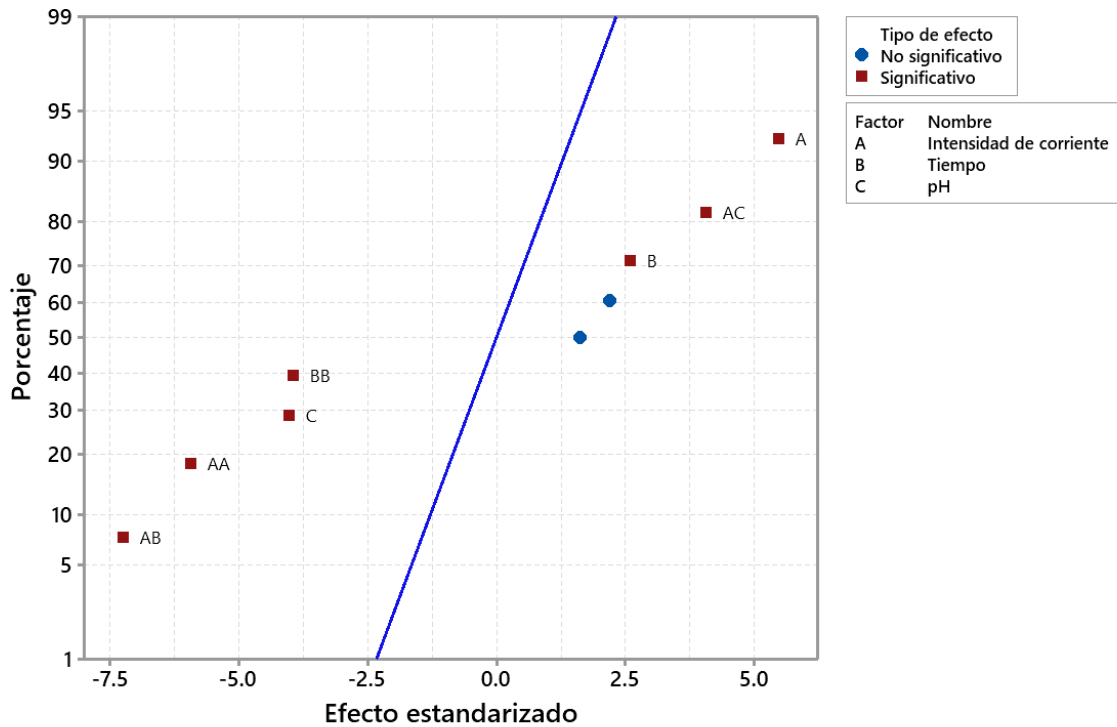
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	6639.4	737.7	24.0	0.001
Lineal	3	1460.7	486.9	15.8	0.006
(A) Intensidad de corriente	1	921.4	921.4	30.0	0.003
(B) Tiempo	1	206.4	206.4	6.7	0.049
(C) pH	1	497.0	497.0	16.2	0.010
Cuadrado	3	1361.6	453.9	14.8	0.006
A*A	1	1083.1	1083.1	35.2	0.002
B*B	1	478.9	478.9	15.6	0.011
C*C	1	149.2	149.2	4.9	0.079
Interacción de 2 factores	3	2199.0	733.0	23.8	0.002
A*B	1	1609.7	1609.7	52.3	0.001
A*C	1	508.9	508.9	16.6	0.010
B*C	1	80.4	80.4	2.6	0.167
Error	5	153.8	30.8		
Falta de ajuste	3	153.8	51.3	*	*
Error puro	2	0.0	0.0		
Total	14	6793.1			
Resumen del modelo		$R^2=97.74\%$	$R^2(\text{ajustado})= 93.66\%$		

La Figura 3 presenta la gráfica de probabilidad normal de los efectos estandarizados para la remoción de cromo VI. Esta gráfica se divide en dos regiones: la región inferior al 50%, donde los factores y sus interacciones muestran coeficientes negativos (AB, AA, C, BB), y la región superior al 50%, donde los factores presentan coeficientes positivos (A, AC, B).

Los factores e interacciones que se encuentran alejados de la línea de referencia son significativos, mientras que aquellos que se encuentran cerca o sobre la línea corresponden a estimados de los errores de los efectos y se consideran no significativos. Los efectos positivos indican que un aumento en los niveles de esos factores lleva a un incremento en el porcentaje de remoción de cromo VI, mientras que los efectos negativos sugieren que un aumento en los niveles de esos factores resulta en una disminución en la remoción. Adicionalmente, nos muestra que el principal factor que influyo sobre el porcentaje de remoción de cromo VI fue la intensidad de corriente con un efecto estandarizado 5.47 y 95% de significancia.

Figura 3

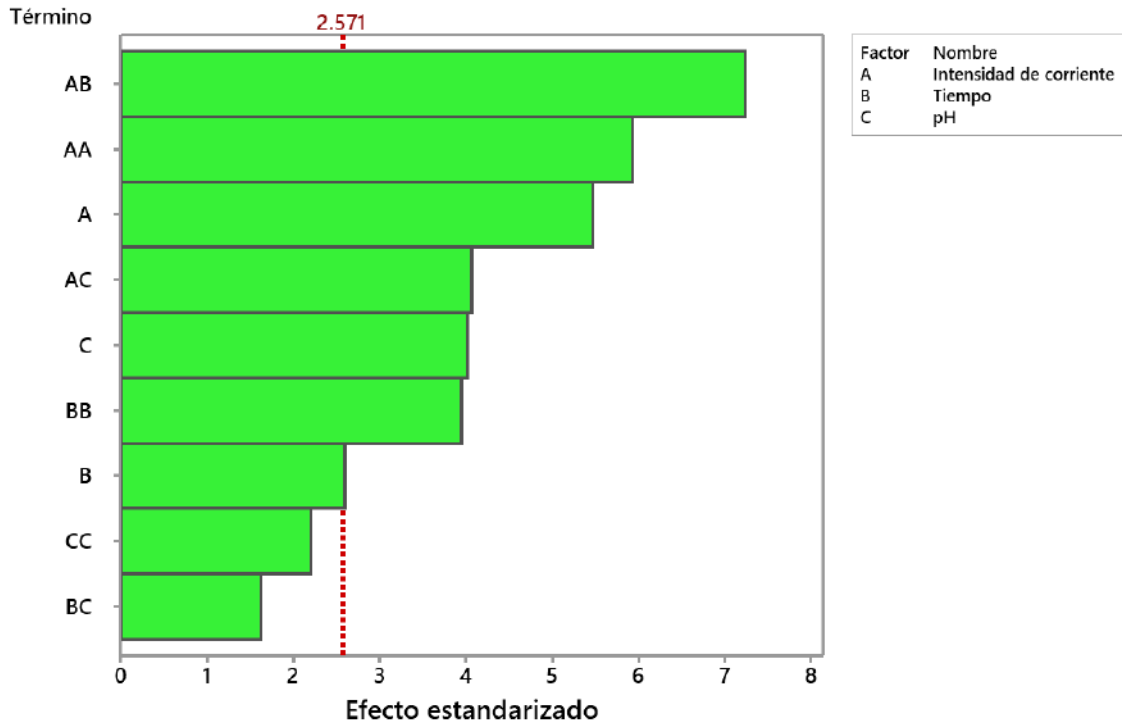
Distribución normal de efectos estandarizados (la respuesta es Porcentaje de Remoción (R), $\alpha = 0.05$)



De manera similar, el diagrama de Pareto mostrado en la Figura 4 revela un alto nivel de significancia para el efecto combinado de la intensidad de corriente (A) y el tiempo (B), seguido por el efecto combinado de la intensidad de corriente (A) consigo misma, tal como se observó en la gráfica anterior. La longitud de las barras representa el valor absoluto de los efectos estandarizados, lo que permite visualizar la magnitud de la influencia de cada factor o interacción. A partir de este diagrama, se puede concluir que la intensidad de corriente (A) fue la variable más importante de todo el proceso de remoción.

Figura 4

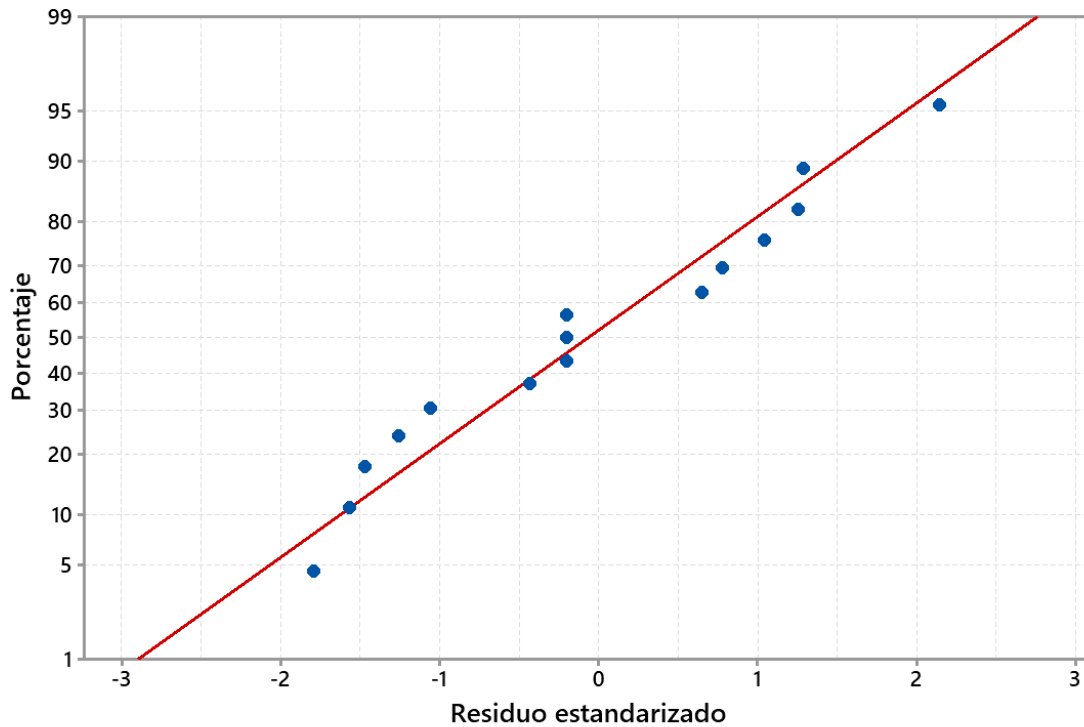
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados (la respuesta es Porcentaje de Remoción (R); $\alpha = 0,05$)



La Figura 5 muestra la distribución de los valores residuales, definidos como la diferencia entre los valores ajustados por el modelo y los valores observados experimentalmente. La gráfica revela que los residuos siguen una distribución normal, donde aproximadamente el 50 % de los residuos toma valores positivos y el otro 50 % toma valores negativos. Además, la desviación máxima y mínima de estos residuos es de solo ± 2.15 , lo que indica una discrepancia mínima entre los valores ajustados y observados.

Figura 5

Diagrama de probabilidad normal de los residuos (la respuesta es Porcentaje de Remoción (R); $\alpha = 0,05$)



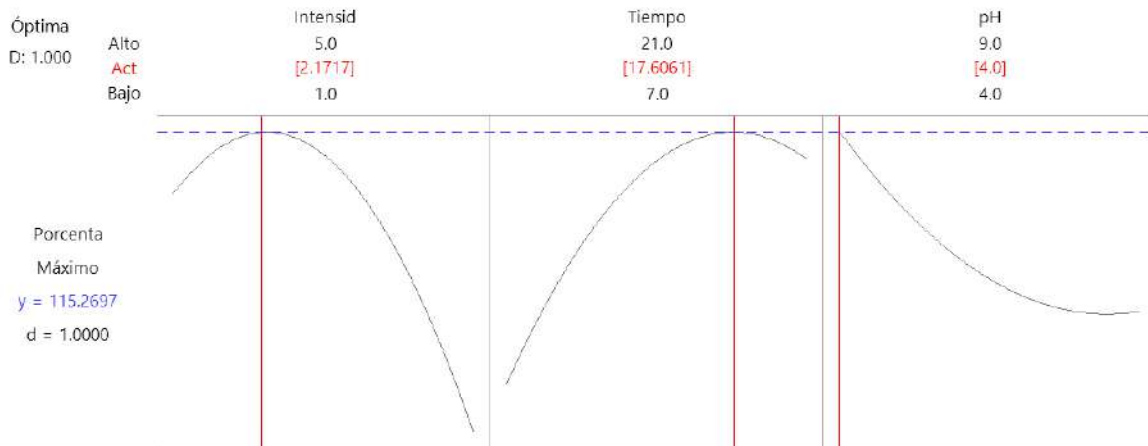
La Figura 6, muestra que utilizando este modelo se puede alcanzar un porcentaje de remoción de cromo VI de más del 99.9 %, bajo condiciones analizadas, con un nivel de 2.17 A de intensidad de corriente (A), 17.6 min de tiempo de tratamiento y un pH 4.

La remoción de cromo VI usando el reactor electroquímico se ajusta a la Ecuación (6) arrojada por el diseño estadístico.

$$R = 30.3 + 45.58(A) + 12.26(B) - 27.16(C) - 4.517(A) * (A) - 0.2577(B) * (B) + 1.050(C) * (C) - 1.948(A) * (B) + 2.256(A) * (C) + 0.256(B) * (C) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Figura 6

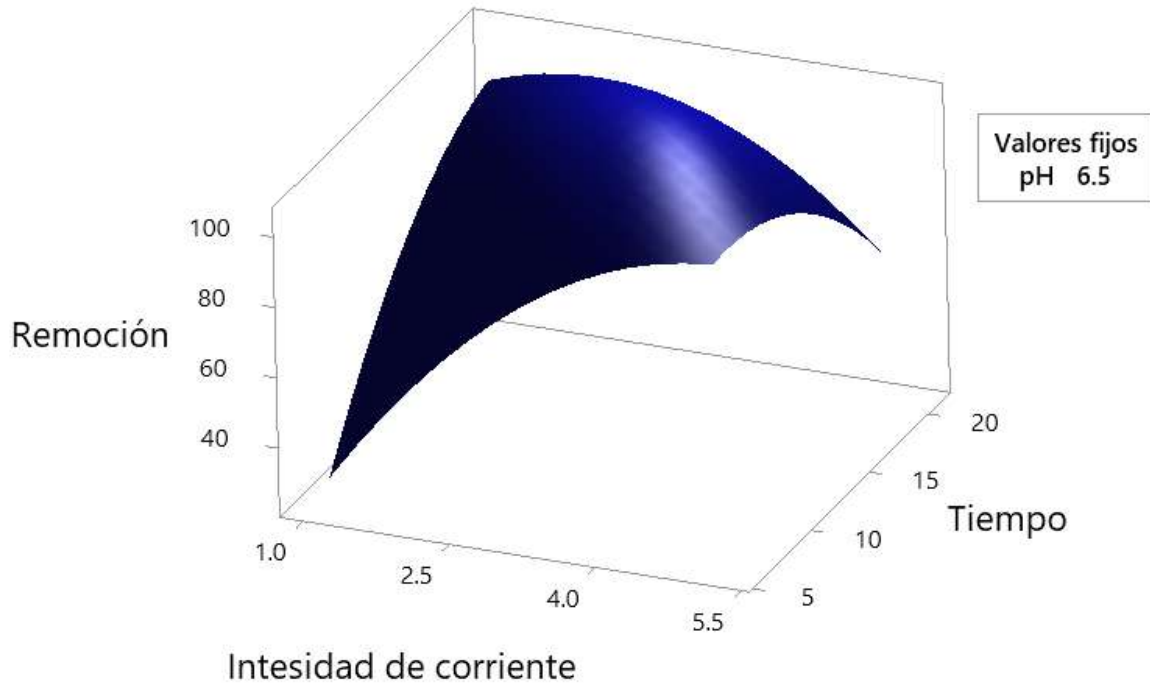
Diagrama de optimización del porcentaje de remoción (Las líneas verticales rojas indican el máximo de remoción obtenida)



La Figura 7 presenta la gráfica de superficie que muestra el porcentaje de remoción de cromo VI en función de la intensidad de corriente y el tiempo de tratamiento. De la gráfica se observa que, aunque el tiempo (B) tiene un efecto positivo sobre la remoción de cromo VI, su influencia es relativamente menor en comparación con la intensidad de corriente (A), que muestra un impacto más significativo en la eficiencia del proceso.

Figura 7

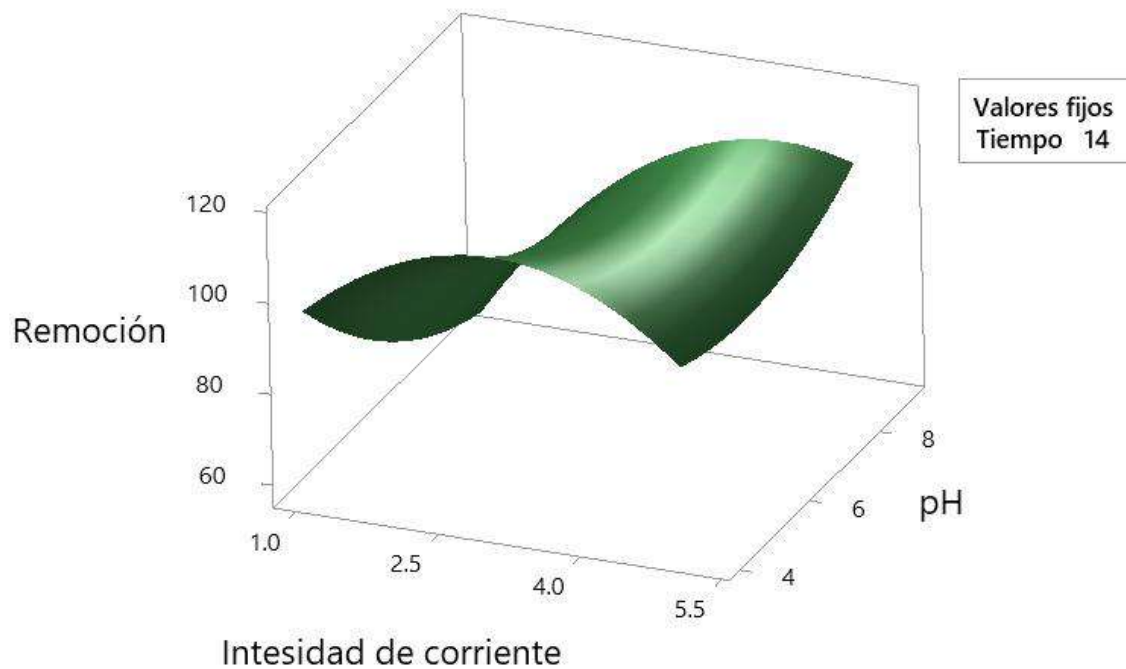
Diagrama de superficie del porcentaje de remoción del cromo VI vs. Tiempo e intensidad de corriente



En la Figura 8, que muestra el diagrama de superficie para el porcentaje de remoción de cromo VI en función de la intensidad de corriente y el pH, se observa que la intensidad de corriente (A) tiene un efecto positivo más pronunciado que el pH (C). Este resultado confirma que la intensidad de corriente ejerció un mayor impacto en la eficiencia de remoción en comparación con tanto el tiempo Figura 7 como el pH, lo que subraya su relevancia como factor determinante en el proceso electroquímico de remoción de cromo VI.

Figura 8

Diagrama de superficie del porcentaje de remoción del cromo VI vs. pH e intensidad de corriente



4. DISCUSIONES

4.1. Efectos de la intensidad de corriente

La intensidad de corriente influye directamente en el rendimiento del tratamiento, ya que determina la cantidad de coagulante generado, el tamaño de las burbujas microscópicas y la velocidad de reacción, factores que afectan significativamente el porcentaje de remoción de cromo VI (Hamdan y El-Naas, 2014).

En este estudio, se emplearon intensidades de corriente de 1, 3 y 5 A, observándose un aumento en la tasa de eliminación de cromo VI a medida que se incrementaba la intensidad. Específicamente, con intensidades de 3 y 5 A, se alcanzó una remoción del 99,9 % tras 14 minutos de tratamiento. Estos resultados coinciden con los reportados por (Mella et al., 2015),

quienes lograron una remoción del 97,76 % al aplicar intensidades de corriente entre 0 y 3 A durante 110 minutos. Este comportamiento se explica por el aumento en la disolución del hierro anódico con mayores intensidades de corriente, lo que mejora el proceso de coagulación. Sin embargo, el uso de intensidades de corriente elevadas puede tener efectos adversos, como la disminución de la eficiencia debido a la producción de oxígeno y la pasivación de los electrodos. Además, incrementa significativamente el costo energético del tratamiento (Piña et al., 2011).

Por ello, es fundamental seleccionar una intensidad de corriente que balancee la eficiencia del proceso y los costos operativos.

4.2. Efectos del tiempo de tratamiento

Los resultados indican que la eficiencia de remoción de cromo VI no necesariamente mejora al prolongar el tiempo de tratamiento de manera indefinida. En la mayoría de las muestras, después de 7 minutos de tratamiento, las eficiencias superan el 90%, alcanzando incluso el 99% al extender el tiempo. Sin embargo, este incremento está asociado con un mayor consumo de energía y desgaste de los electrodos. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Chen et al. (2000) y Gao et al. (2005), quienes observaron que la eficiencia de remoción aumenta con el tiempo de tratamiento hasta alcanzar un punto óptimo. Este fenómeno se debe a la formación de flóculos más grandes y densos, los cuales mejoran la adsorción de contaminantes.

No obstante, también advirtieron que prolongar excesivamente el tratamiento puede provocar la redispersión de los flóculos, reduciendo así la eficiencia de remoción. Por lo tanto, se recomienda optimizar cuidadosamente el tiempo de tratamiento para equilibrar la máxima eficiencia de remoción con los costos energéticos y el desgaste de los materiales, además de minimizar la formación de subproductos.

4.3. Efectos de la velocidad de rotación

La velocidad de rotación y el diseño del impulsor son factores ampliamente reconocidos como críticos para la eficiencia de remoción de cromo VI en reactores electroquímicos. Estudios previos han demostrado que el aumento en la velocidad de rotación y el empleo de impulsores optimizados potencian la transferencia de masa y mejoran la eficiencia global del proceso. Sin embargo, también se ha señalado que un incremento excesivo en la velocidad puede ocasionar efectos adversos, como un desgaste acelerado de los electrodos, lo que compromete la estabilidad del sistema (S. Martínez-Delgadillo et al., 2012; Rodríguez G., 2003).

En los ensayos realizados en esta investigación, la influencia de la velocidad de rotación fue mínima en la remoción de cromo VI. Las eficiencias observadas entre velocidades de 25 rpm y 100 rpm no presentaron variaciones significativas. Este comportamiento puede estar relacionado con la incapacidad del motor utilizado para generar la turbulencia necesaria en el reactor, limitando así la mejora en la transferencia de masa. Dado este resultado, la velocidad de rotación no se consideró como un parámetro determinante en el diseño experimental de este estudio.

Este hallazgo sugiere la necesidad de optimizar tanto el diseño del impulsor como las características del sistema de agitación en investigaciones futuras, especialmente en configuraciones donde la transferencia de masa es un factor limitante del proceso.

4.4. Influencia del diseño del reactor

Los estudios revisados subrayan que el diseño del reactor electroquímico es un factor crítico para maximizar la eficiencia en la remoción de cromo VI. Elementos como la configuración de los electrodos, la dinámica de flujo y el tipo de reactor deben ser cuidadosamente optimizados para lograr un rendimiento eficiente en el tratamiento de aguas contaminadas (Chen et al., 2000; Ibrahim et al., 2013; Rodríguez G., 2003). Yáñez Varela

(2017), demostró que configuraciones en forma de anillos con agitación logran menores tiempos de tratamiento en comparación con reactores de celdas, lo que resulta en una reducción significativa del consumo energético. Este hallazgo concuerda con los resultados de esta investigación, en la cual se adoptó un diseño que combina electrodos tubulares y una configuración de anillos. Esta combinación busca maximizar el área específica y mejorar el desempeño hidrodinámico del reactor.

En esta investigación, se utilizaron electrodos de acero-carbón debido a su alta conductividad eléctrica, lo que favorece el flujo de electrones y aumenta la velocidad de reducción de Fe(III) a Fe(II). Según Miriam Guadalupe et al. (2015), el acero-carbón presenta ventajas frente al acero inoxidable, ya que este último puede liberar cromo VI hacia la solución, especialmente a lo largo del tiempo de tratamiento, lo que podría aumentar la concentración de contaminantes.

Aunque el acero-carbón es susceptible a la corrosión, se observó que en medios ácidos este fenómeno se minimiza significativamente. En los tratamientos realizados a pH ácidos, la generación de lodos fue mínima, lo que refuerza la idoneidad de este material. Además, el acero-carbón es económicamente accesible y fácilmente disponible en el mercado actual, lo que lo convierte en una opción práctica para aplicaciones a gran escala.

4.5. Influencia del pH

Durante las pruebas realizadas, se observó que a valores de pH más bajos (condiciones ácidas), el tiempo de reacción requerido para la remoción de cromo VI disminuye significativamente, alcanzando alrededor de 7 minutos a un pH de 4. En estas condiciones, la corrosión de los electrodos y la generación de lodos fueron mínimas. Estos resultados coinciden con el estudio de Fair et al. (1971), quien señaló que en condiciones de pH elevado (alcalino), se incrementa la corrosión de los electrodos y se genera un mayor volumen de lodos

debido a la mayor cantidad de iones ferrosos (Fe(II) o Fe(III)) que precipitan en estas condiciones.

El pH, por lo tanto, desempeña un papel fundamental en la eficiencia del tratamiento electroquímico de cromo VI. En condiciones ácidas, el proceso es generalmente más eficiente debido a la mayor reactividad de las especies químicas involucradas y la reducción de la pasivación del electrodo. En contraste, en pH neutro o alcalino, la formación de especies menos reactivas y la mayor probabilidad de pasivación del electrodo pueden reducir la efectividad del proceso electrodo (Velasco et al., 2016; Zhang et al., 2023).

Estos hallazgos destacan la importancia de optimizar el pH como variable clave en el diseño y operación de sistemas electroquímicos para la remoción de cromo VI, priorizando condiciones ácidas para maximizar la eficiencia y minimizar los costos operativos.

4.6. Comparación con la normativa nacional e internacional

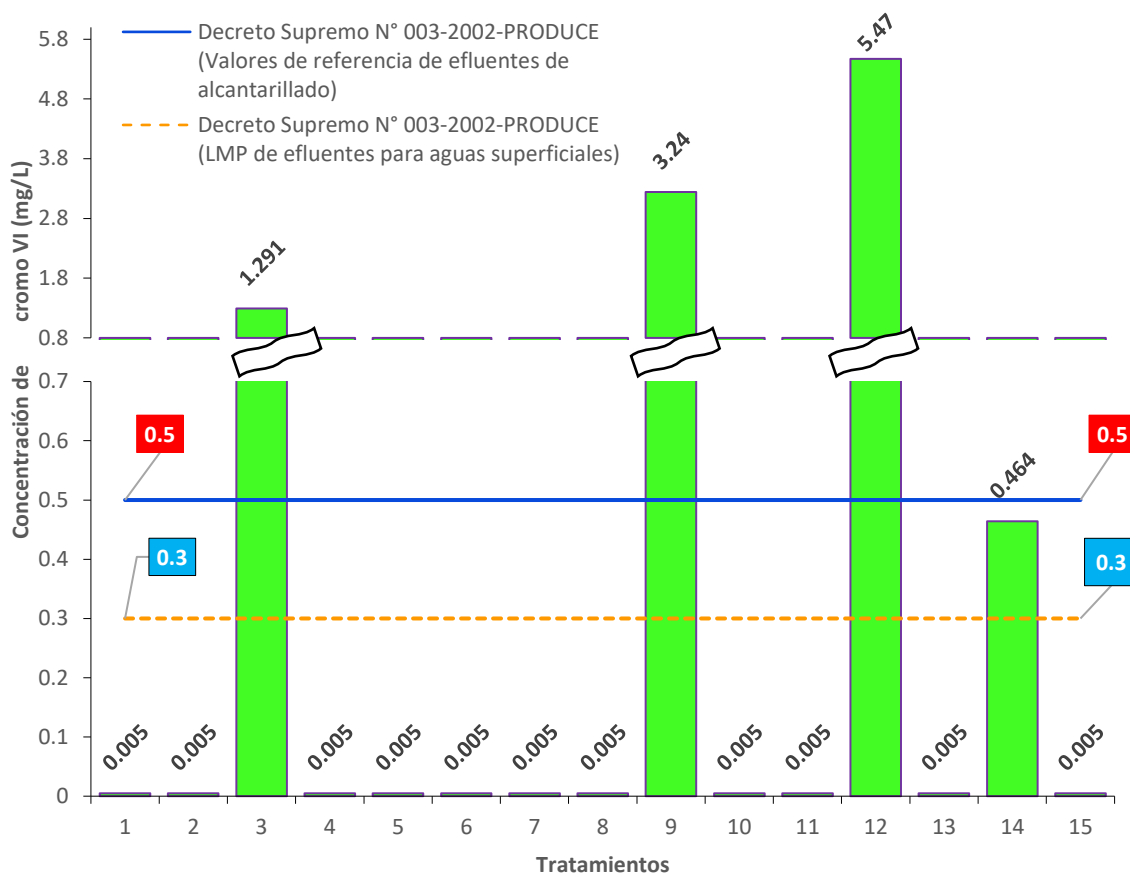
La Figura 9 muestra que 12 de los 15 tratamientos realizados presentan concentraciones de cromo VI inferiores a 0.5 mg/L, cumpliendo con los Valores de Referencia de Efluentes para alcantarillado. Asimismo, 11 tratamientos logran concentraciones por debajo de 0.3 mg/L, en conformidad con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes destinados a cuerpos de agua superficiales.

En la mayoría de los tratamientos evaluados, se cumplen los parámetros establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE, que regula los Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales aplicables a las actividades industriales, incluidas las de cemento, cerveza, curtiembre y papel.

Estos resultados destacan la efectividad del sistema empleado en la remoción de cromo VI, particularmente en contextos que requieren cumplir con estrictas normativas ambientales.

Figura 9

Resultados de los tratamientos VS normativa nacional

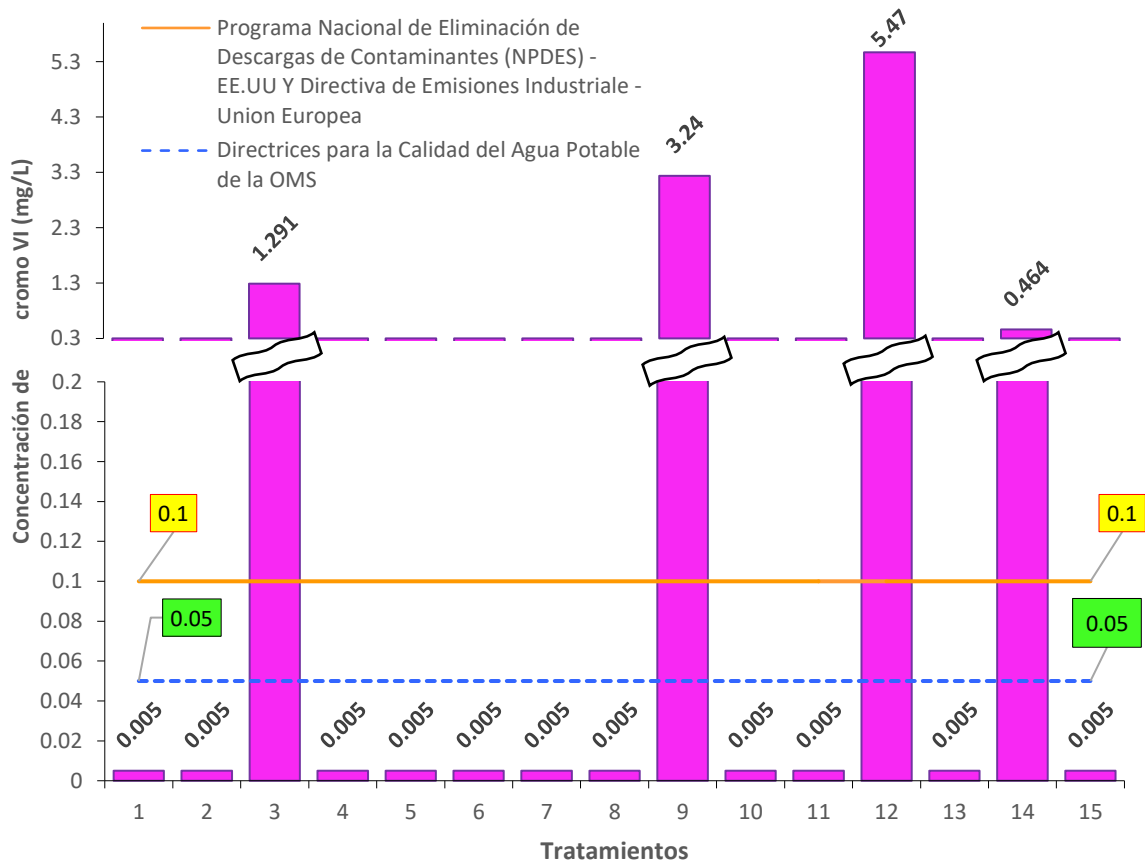


La Figura 10 muestra que 11 de los 15 tratamientos realizados cumplen con los límites de emisión establecidos para cromo VI en las descargas de aguas residuales, tanto por la Directiva 2010/75/UE de la Unión Europea como por las Normas Nacionales de Descarga de Efluentes (NPDES) de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, los cuales fijan un límite máximo de 0.1 mg/L para cromo VI en efluentes. Adicionalmente, 11 de los 15 tratamientos cumplen con el valor guía de 0.05 mg/L para cromo total (que incluye cromo VI) establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para agua potable. Aunque estas directrices no están diseñadas específicamente para efluentes industriales, su influencia en la legislación nacional busca proteger las fuentes de agua potable, promoviendo estándares

más rigurosos para evitar la contaminación de cuerpos de agua que puedan ser utilizados para consumo humano. Estos resultados destacan la eficacia del tratamiento aplicado, al demostrar su capacidad para cumplir con normativas internacionales y guías de referencia para minimizar el impacto ambiental y proteger los recursos hídricos.

Figura 10

Resultados de los tratamientos VS normas internacionales



5. CONCLUSIONES

El efluente inicial presenta una concentración de cromo VI de 7.17 mg/L, que supera los límites máximos permisibles del D.S. N° 003-2002-PRODUCE, así como de la Unión Europea-Directiva 2010/75/UE, Normas Nacionales de Descarga de Efluentes (NPDES) de la Agencia de Protección Ambiental y la OMS, sin embargo, el tratamiento utilizando el reactor electroquímico propuesto demostró ser eficiente, logrando remover más del 99% del cromo VI en la mayoría de los experimentos realizados. De acuerdo con el diseño Box-Behnken, se determinó que los factores más influyentes en el proceso de remoción son la intensidad de corriente y el tiempo de tratamiento, seguidos por el pH con menor efecto; además, se obtuvo un coeficiente de correlación ajustado $R^2=93.7\%$, lo que indica una buena representación del proceso de remoción. Tras la optimización, se encontró que el cromo VI en los efluentes de curtiembre puede ser eliminado con una intensidad de corriente de 2.17 Amperios, un pH de 4 y un tiempo de tratamiento de 17.60 minutos, subrayando así la efectividad del tratamiento electroquímico de aguas contaminadas con cromo VI y ofreciendo una solución viable y eficiente para cumplir con las regulaciones ambientales y proteger la salud pública.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarado-Gómez, A., Blanco-Sáenz, R., y Mora-Morales, E. (2002). El cromo como elemento esencial en los humanos. *Revista Costarricense de Ciencias Médicas*, 23(1-2), 55-68.
- APHA/AWWA/WEF. (2012). Standard Methods for examination of water and wastewater. En *Anales de Hidrología Médica* (22nd ed, Vol. 5, Número 2).
- Bacardit, A., Morera, J. M., Ollé, L., Bartolí, E., y Dolors Borràs, M. (2008). High chrome exhaustion in a non-float tanning process using a sulphonic aromatic acid. *Chemosphere*, 73(5), 820-824. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2008.07.036>
- Chen, X., Chen, G., y Yue, P. L. (2000). Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation. *Separation and Purification Technology*, 19(1-2), 65-76. [https://doi.org/10.1016/S1383-5866\(99\)00072-6](https://doi.org/10.1016/S1383-5866(99)00072-6)
- Chowdhury, M., Mostafa, M. G., Biswas, T. K., y Saha, A. K. (2013). Treatment of leather industrial effluents by filtration and coagulation processes. *Water Resources and Industry*, 3, 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.05.002>
- Daneshvar, N., Khataee, A. R., Amani Ghadim, A. R., y Rasoulifard, M. H. (2007). Decolorization of C.I. Acid Yellow 23 solution by electrocoagulation process: Investigation of operational parameters and evaluation of specific electrical energy consumption (SEEC). *Journal of Hazardous Materials*, 148(3), 566-572. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.03.028>
- Fair, G. M., Geyer, J. C., y Okun, D. A. (1971). *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. Limusa. https://books.google.com.pe/books?id=_83mAAAACAAJ
- Gao, P., Chen, X., Shen, F., y Chen, G. (2005). Removal of chromium(VI) from wastewater by combined electrocoagulation–electroflotation without a filter. *Separation and Purification Technology*, 43(2), 117-123. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2004.10.008>
- Gonzales, M. (2016). *Captación y movilización de cromo en plantas de maíz (Zea mays) en suelo suplementado con nutrientes minerales*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Gutiérrez C., F. J., Espino S., A. E., Coreño A., A., y Acevedo A., F. J. (2010). Mecanismos de interacción con cromo y aplicaciones biotecnológicas en hongos. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 47-63. <https://www.researchgate.net/publication/268576943>

- Gutiérrez Pulido, H., y Vara Salazar, R. de la. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (3a ed). McGraw-Hill/Interamericana.
- Hamdan, S. S., y El-Naas, M. H. (2014). Characterization of the removal of Chromium(VI) from groundwater by electrocoagulation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(5), 2775-2781. <https://doi.org/10.1016/J.JIEC.2013.11.006>
- Holt, P. K., Barton, G. W., y Mitchell, C. A. (2005). The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology. *Chemosphere*, 59(3), 355-367. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.023>
- Ibrahim, D. S., Veerabahu, C., Palani, R., Devi, S., y Balasubramanian, N. (2013). Flow dynamics and mass transfer studies in a tubular electrochemical reactor with a mesh electrode. *Computers & Fluids*, 73, 97-103. <https://doi.org/10.1016/J.COMPFLUID.2012.12.001>
- Kanagaraj, J., Senthilvelan, T., Panda, R. C., y Kavitha, S. (2015). Eco-friendly waste management strategies for greener environment towards sustainable development in leather industry: a comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 89, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.013>
- Kongsricharoen, N., y Polprasert, C. (1996). Chromium removal by a bipolar electrochemical precipitation process. *Water Science and Technology*, 34(9), 109-116. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(96\)00793-7](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(96)00793-7)
- Martinez-Delgado, S. A., Mollinedo-P, H., Mendoza-Escamilla, V. X., y Huerta, O. (2011). Evaluation of the hydrodynamic performance of an electrochemical reactor with rotating ring electrodes using CFD analysis. *Chemical Engineering Transactions*, 25(Vi), 315-320. <https://doi.org/10.3303/CET1125053>
- Martinez-Delgado, S., Mollinedo-Ponce, H., Mendoza-Escamilla, V., Gutiérrez-Torres, C., Jiménez-Bernal, J., y Barrera-Díaz, C. (2012). Performance evaluation of an electrochemical reactor used to reduce Cr(VI) from aqueous media applying CFD simulations. *Journal of Cleaner Production*, 34, 120-124. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2011.10.036>
- Mella, B., Glanert, A. C., y Gutterres, M. (2015). Removal of chromium from tanning wastewater and its reuse. *Process Safety and Environmental Protection*, 95, 195-201. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2015.03.007>
- Miriam Guadalupe, R.-R., Emilio Javier, M.-R., y Víctor Andrés, R.-R. (2015). Optimización del proceso electroquímico para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con Cr(VI). *Amica*.

- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., y Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC) — science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 84(1), 29-41. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(01\)00176-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(01)00176-5)
- Morales Posada, N. B. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 49-56.
- Mungasavalli, D. P., Viraraghavan, T., y Jin, Y. C. (2007). Biosorption of chromium from aqueous solutions by pretreated *Aspergillus niger*: Batch and column studies. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 301(1-3), 214-223. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.12.060>
- Myers, R. H. (2016). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments* (D. C. Montgomery & C. M. Anderson-Cook, Eds.; 4th ed.) [Book]. Wiley.
- Nkhalambayausi-Chirwa, E. M., y Wang, Y. T. (2001). Simultaneous chromium(VI) reduction and phenol degradation in a fixed-film coculture bioreactor: Reactor performance. *Water Research*, 35(8), 1921-1932. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00472-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00472-3)
- Osorio Casquina, G. V., y Juarez Calderon, C. A. (2019). *Determinación de los parámetros electroquímicos óptimos para la remoción de cromo (iii) y DQO en aguas de curtido a través del proceso de electrocoagulación en un reactor de recirculación*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Piña, M., Martín, A., Gonzales, C. A., Prieto, F., Guevara, A., y Gracia, J. E. (2011). Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10, 257-271. www.rmiq.org
- Porras Chávez, Á. (2010). Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 41-49. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242010000200004&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Rodríguez G., M. (2003). *Modelación simulación y validación experimental del proceso electroquímico de remoción de cromo hexavalente de aguas residuales, en un sistema dinámico de electrodos rotativos*. Universidad Autónoma Metropolitana .
- Tak, B. yul, Tak, B. sik, Kim, Y. ju, Park, Y. jin, Yoon, Y. hun, y Min, G. ho. (2015). Optimization of color and COD removal from livestock wastewater by electrocoagulation process: Application of Box–Behnken design (BBD). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 28, 307-315. <https://doi.org/10.1016/J.JIEC.2015.03.008>

- Velasco, G., Gutiérrez-Granados, S., Ponce De León, C., Alatorre, A., Walsh, F. C., y Rodríguez-Torres, I. (2016). The electrochemical reduction of Cr(VI) ions in acid solution at titanium and graphite electrodes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(3), 3610-3617. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2016.08.004>
- Yáñez Varela, J. A. (2017). *Diseño del electrodo de un reactor electroquímico mediante modelamiento y simulación hidrodinámica*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Zhang, X., Meng, G., Hu, J., Xiao, W., Li, T., Zhang, L., y Chen, P. (2023). Electroreduction of hexavalent chromium using a porous titanium flow-through electrode and intelligent prediction based on a back propagation neural network. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 17(8), 97. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1697-x>

7. ANEXOS

Anexo 1. Evidencia de sumisión de la tesis

[tca] Acuse de recibo de envío

Helena Rivas López <tyca.ojs@gmail.com>

Dom 09/06/2024 14:44

Para: Juan Eduardo Vigo Rivera <eduardo.vigo@upeu.edu.pe>

Hola Juan Eduardo Vigo Rivera:

Gracias por enviar el manuscrito "Remoción de cromo (VI) de efluentes de curtiembre usando un reactor electroquímico de mezcla completa: Removal of chromium (VI) from tannery effluents using a complete mix electrochemical reactor" a *Tecnología y ciencias del agua* para posible publicación.

Con nuestro sistema de gestión en línea podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito:

<https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/authorDashboard/submission/3898>

Nombre de usuario/a: jevr72

Quedo a sus órdenes.

Helena Rivas López

En cumplimiento con la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), con domicilio en Paseo Cuauhnáhuac número 8532, Col. Progreso, C.P. 62550 Jiutepec, Morelos, es el responsable del tratamiento de los datos personales que nos proporcione de carácter personal a través de este medio; dichos datos serán protegidos conforme a lo dispuesto por la citada Ley y demás normatividad que resulte aplicable. Se entiende el consentimiento expreso del titular de los datos personales para utilizarlos en actividades propias de su objeto social como lo es la revista *Tecnología y ciencias del agua*. Para mayor información, lo invitamos a consultar el Aviso de Privacidad en nuestro portal <https://www.gob.mx/imta/acciones-y-programas/avisos-de-privacidad-del-imta>

Anexo 2. Copia de resolución de inscripción de perfil de proyecto de tesis

“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

RESOLUCIÓN N° 0533-2022/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 19 de julio de 2022

VISTO:

El expediente de **Carlos Andres, Ramos Cari**, identificado(a) con Código Universitario N° 201521964 y **Marcos Ronaldo Guillen Choque**, identificado(a) con Código Universitario N° 201521868, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Carlos Andres, Ramos Cari** y **Marcos Ronaldo Guillen Choque**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Remoción de cromo (VI) de efluentes de curtiembre usando un reactor electroquímico de mezcla completa" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;


Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 19 de julio de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Remoción de cromo (VI) de efluentes de curtiembre usando un reactor electroquímico de mezcla completa**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **MSc. Rose Adeline Callata Chura** y **Ing. Veronika Haydeé Pari Mamani**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



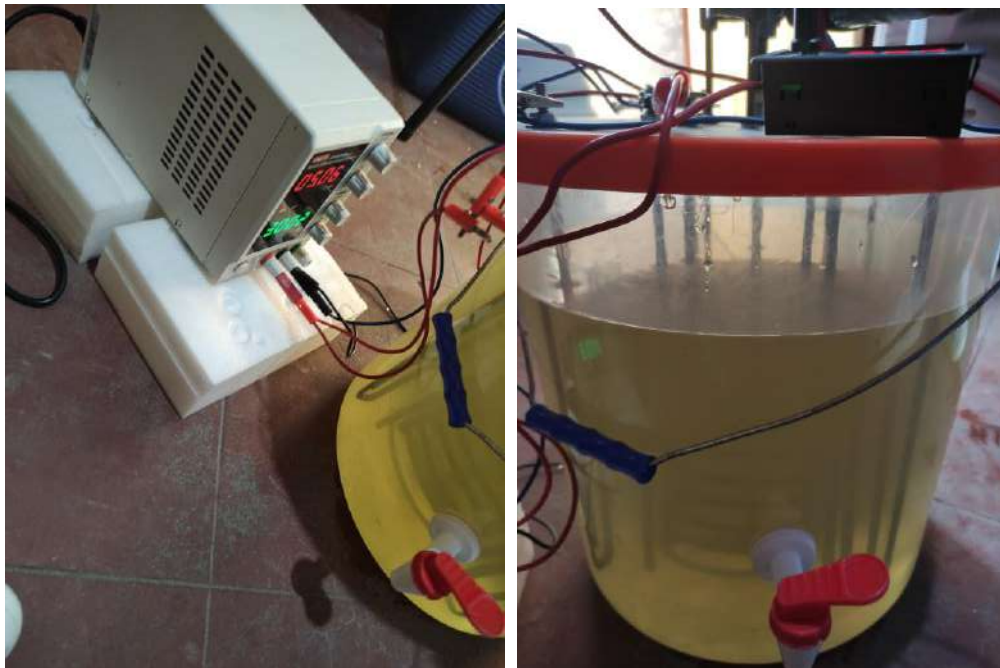

Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

cc:
-Interesado
Asesor
Dirección General de Investigación
Archivo

Anexo 3. Panel fotográfico



Anexo 3.1. Reactor armado

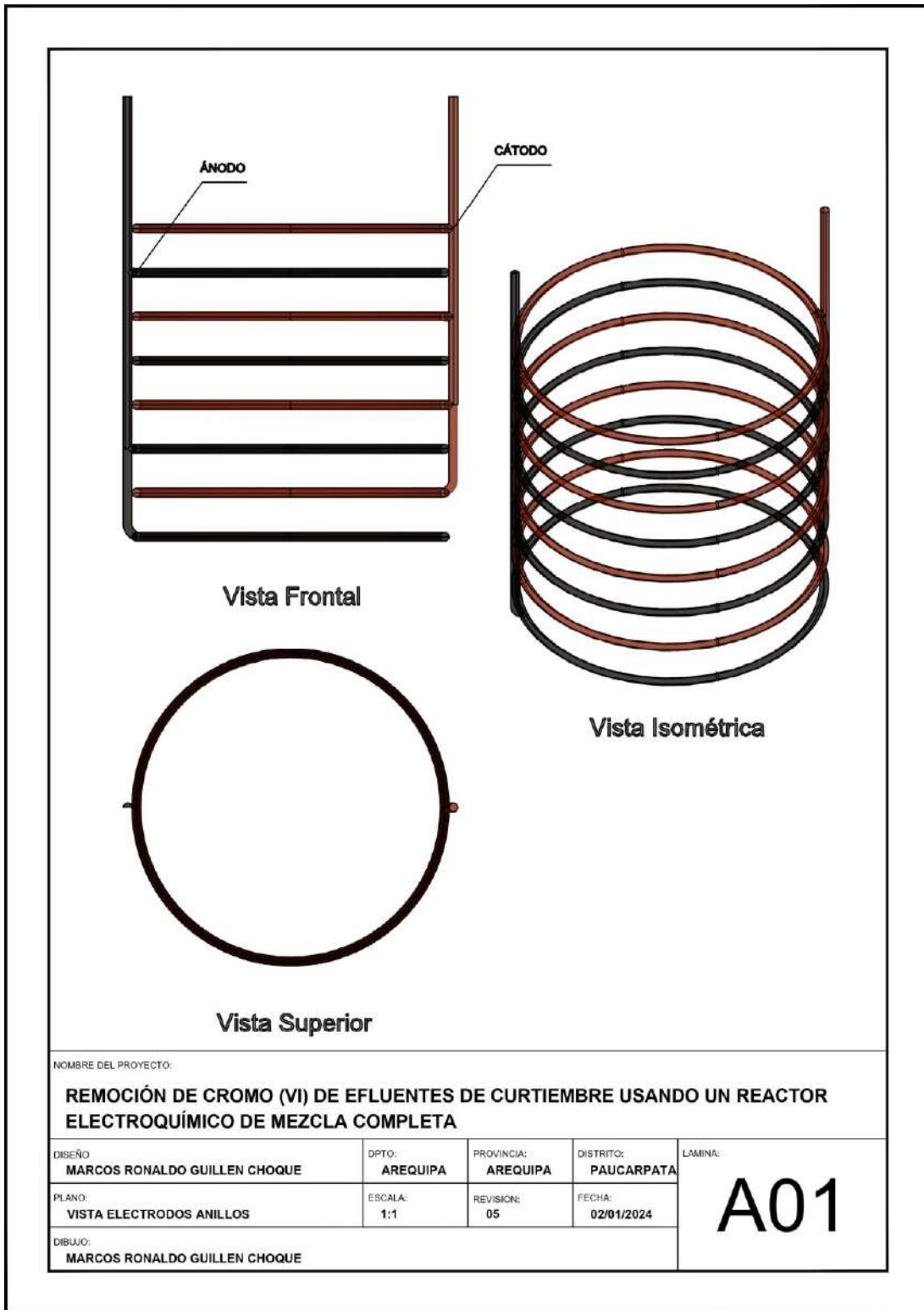


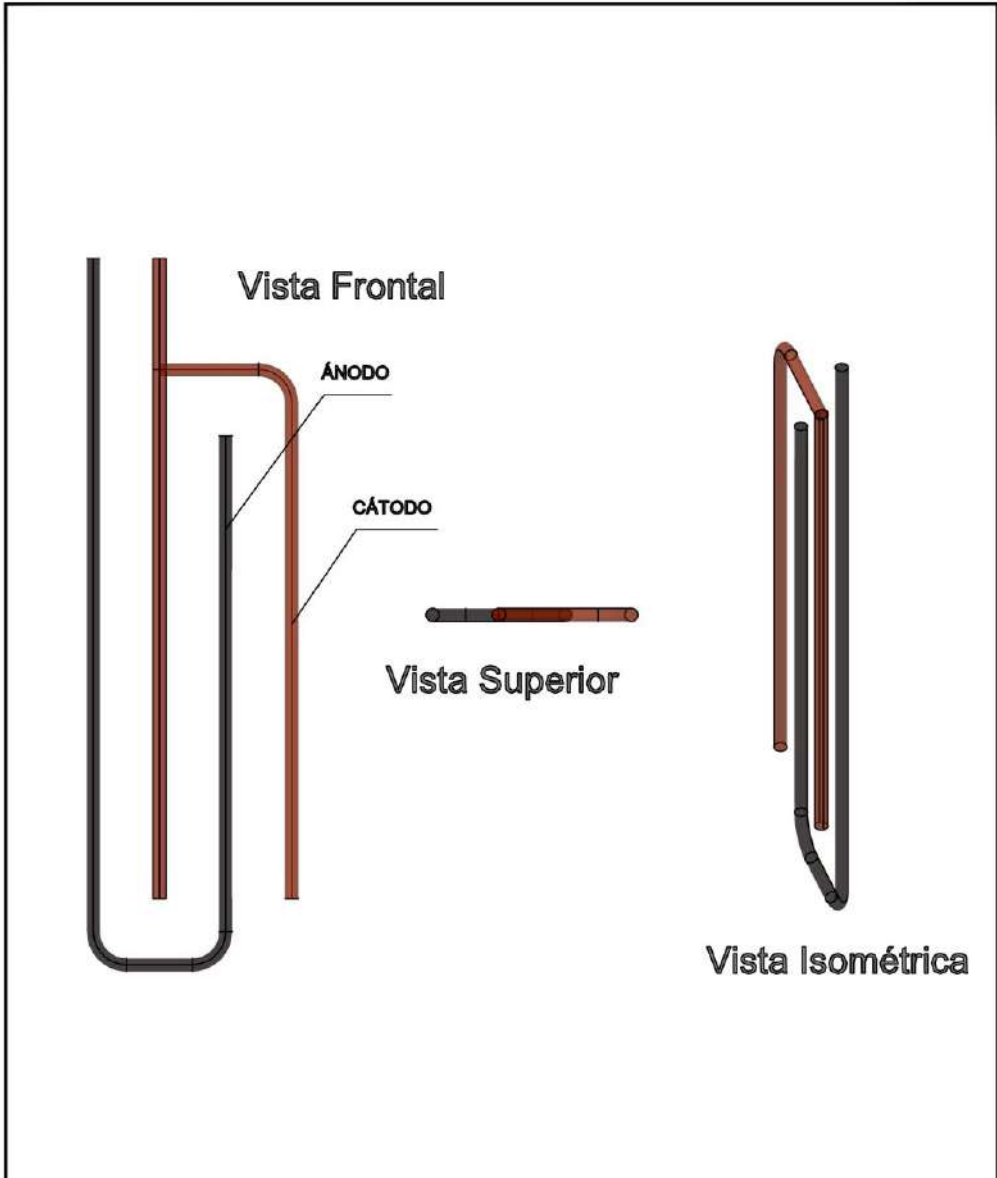
Anexo 3.2. Pruebas experimentales. Derecha configuración de la fuente de poder. Izquierda funcionamiento del reactor



Anexo 3.3. Muestras de agua tratadas

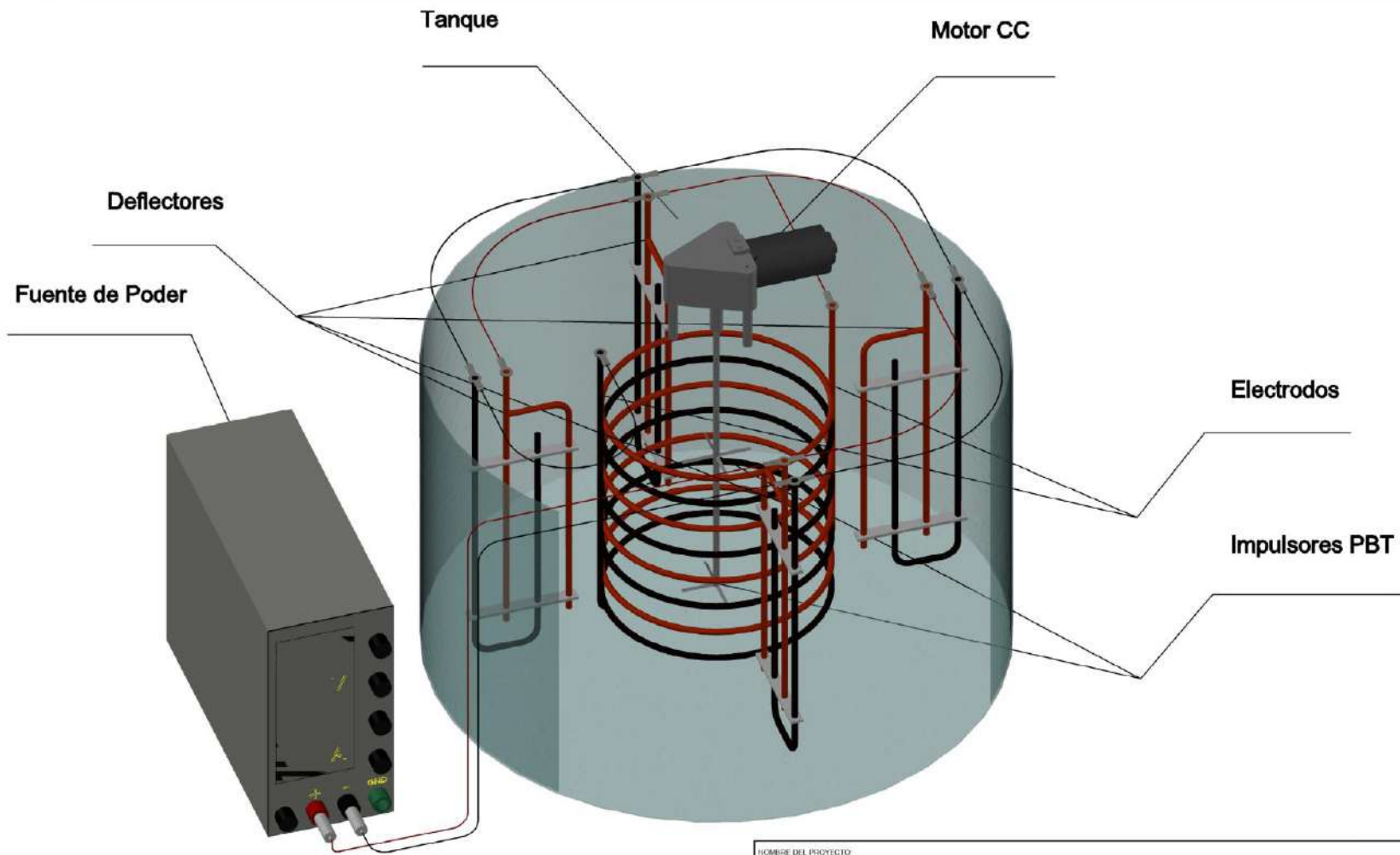
Anexo 4. Dibujos del diseño del reactor





NOMBRE DEL PROYECTO:
REMOCIÓN DE CROMO (VI) DE EFLUENTES DE CURTIEMBRE USANDO UN REACTOR ELECTROQUÍMICO DE MEZCLA COMPLETA

DISEÑO MARCOS RONALDO GUILLEN CHOQUE	DPTO: AREQUIPA	PROVINCIA: AREQUIPA	DISTRITO: PAUCARPATA	LAMINA: A02
PLANO: VISTA DEFLECTORES TUBULARES	ESCALA: 1:1	REVISION: 05	FECHA: 02/01/2024	
DIBUJO: MARCOS RONALDO GUILLEN CHOQUE				



NOMBRE DEL PROYECTO:				A03
REMOCIÓN DE CROMO (VI) DE EFLUENTES DE CURTIEMBRE USANDO UN REACTOR ELECTROQUÍMICO DE MEZCLA COMPLETA				
DISEÑO:	DPTO:	AREQUIPA	AREQUIPA	
MARCOS RONALDO GUILLEN CHOQUE				
PLANO:	ESCALA:	REVISIÓN:	FECHA:	
VISTA EN PLANO ISOMÉTRICA DEL SISTEMA	1:1	05	02/01/2024	
DIBUJÓ:				
MARCOS RONALDO GUILLEN CHOQUE				

Anexo 5. Resultados del análisis del laboratorio



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Página 4 de 6

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00019 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 5/02/2024

Norma : Determinación de Valores Máximos Admisibles en los puntos de descarga de Aguas Residuales No Domésticas S. N° 010-2019-VIVIENDA

Cod.Interno : AG24000031		Nom.Muestra : M-01				
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad	
FISICO QUIMICO						
B27 Cromo VI	mg/L	7,17	0,20	≤0,5	0,00%	RECHAZADO

N.A. : No Aplica


Laboratorios Analíticos del Sur E.S.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Ansequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.





Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Página 5 de 6

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00019 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 5/02/2024

Norma : Determinación de Valores Máximos Admisibles en los puntos de descarga de Aguas Residuales No Domésticas S. N° 010-2019-VIVIENDA

Cod.Interno :AG24000032		Nom.Muestra :M-02					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	h<0,005	N.A.	≤0,5	N.A.	ACEPTADO

N.A. : No Aplica

Sixto Vicente Juárez Neira
 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Sixto Vicente Juárez Neira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Rio Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Peru.(054)443294 - (054)444582.





Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00037 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno :AG24000053		Nom.Muestra :P1					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	≤0,005	N.A.	≤0,5	N.A.	ACEPTADO

N.A : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P.19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.





Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00038 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno :AG24000054		Nom.Muestra :P2					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	≤0,005	N.A.	≤0,5	N.A.	ACEPTADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P.19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Límite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE-050

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00039 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno : AG24000055		Nom.Muestra : P3					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	1,291	0,039	≤0,5	0,00%	RECHAZADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P.19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00040 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno :AG24000056		Nom.Muestra :P4					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	><0,005	N.A.	≤0.5	N.A.	ACEPTADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P.19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00041 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno :AG24000057		Nom.Muestra :P5					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2: 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	<0,005	N.A.	≤0,5	N.A.	ACEPTADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.





Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00042 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno :AG24000058		Nom.Muestra :P6					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	≤0,005	N.A	≤0,5	N.A	ACEPTADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P.19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
via web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00043 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno :AG24000059		Nom.Muestra :P7					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	>0,005	N.A	≤0,5	N.A	ACEPTADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P.19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a"<Valor numérico">Límite de detección del método, "b"<Valor Numérico">Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00044 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno : AG24000060		Nom.Muestra : P8					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	≈<0.005	N.A.	≤0,5	N.A.	ACEPTADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
via web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00045 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno :AG2400061		Nom.Muestra :P9				
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2: 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad	
FISICO QUIMICO						
827	Cromo VI	mg/L	3,240	0,093	≤0,5	0,00% RECHAZADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P.19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00046 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno : AG24000062		Nom.Muestra : P10					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	<0.005	N.A.	≤0,5	N.A.	ACEPTADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P.19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444562.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00047 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno :AG24000063		Nom.Muestra :P11					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	><0.005	N.A	≤0.5	N.A	ACEPTADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.S.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P.19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 050

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00048 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno : AG24000064		Nom.Muestra : P12				
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad	
FISICO QUIMICO						
827	Cromo VI	mg/L	5,47	0,16	≤0,5	0,00% RECHAZADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 050

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00049 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno :AG24000065		Nom.Muestra :P13					
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad		
FISICO QUIMICO							
827	Cromo VI	mg/L	<0,005	N.A.	≤0,5	N.A.	ACEPTADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Sixto Vicente Juárez Neira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.P.19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Limite de detección del método, "<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 050

Página 4 de 4

Declaración de evaluación de la conformidad LAS01-AG-AC-24-00050 según JCGM 106:2012

Fecha de emisión: 17/02/2024

Norma : Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. Según Decreto Supremo DS-003-2002-PRODUCE.

Cod.Interno :AG24000066		Nom.Muestra :P14				
Método	Unidad Medida	Resultado	Incertidumbre k=2; 95% confiable	Especificación	Evaluación de la conformidad	
FISICO QUIMICO						
827	Cromo VI	mg/L	0.464	0.016	≤0.5	100.00% ACEPTADO

N.A. : No Aplica

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Sixto Vicente Juárez Neira
 Gerente General
 Ing. Químico C.I.P.19474

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"a<Valor numérico">=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>.

Parque Ind. Rio Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe
vía web