



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA  
AMBIENTAL**

**DESCONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL  
PROCESO DE CROMADO DE UNA EMPRESA DE  
GALVANOPLASTÍA MEDIANTE LA ELECTROCOAGULACIÓN**

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

**AUTOR:**

**JUAN EVER CHAVEZ HUACANCA**

**ASESOR:**

**MG. HAYDEE SUAREZ ALVITES**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

**TRATAMIENTO DE AGUAS**

**LIMA – PERÚ**

**2017- II**

Página del jurado

---

Dr. Jave Nakayo, Jorge

Presidente

---

Mg. Gómez Morales, Gustavo

Secretario

---

Mg. Suárez Alvites, Haydeé

Vocal

## DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mi futura esposa Soledad Huerta Caspa gracias a su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera profesional y personal, ha sido un claro ejemplo de superación y perseverancia para lograr mis metas en la vida.

Además dedico este trabajo de investigación a mis padres que son un ejemplo de humildad y sencillez que hicieron de mí una persona con principios y valores, pese a tener limitaciones académicas me inculcaron que el estudio es la mejor herencia que un hijo puede recibir de sus padres.

## AGRADECIMIENTO

Ante todo agradecer a Dios por brindarme salud y permitir cumplir uno de mis grandes sueños en la vida, la cual es tener una carrera profesional universitaria. También a todas las personas que fueron parte de todo el proceso de la investigación, especialmente a mi asesora Haydeé Suárez Alvites que en todo momento fue mi guía en este duro camino de mi investigación que con sus conocimientos, orientación, esfuerzo y dedicación ha permitido culminar satisfactoriamente mi trabajo de investigación.

A la empresa Hm Cromo Oleohidráulica SRL por abrirme sus puertas para realizar mi proyecto investigativo dentro sus instalaciones, y a sus colaboradores por ayudarme, guiarme y brindar su apoyo incondicional en cada etapa del proceso.

A todos, muchas gracias

## DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Yo Juan Ever Chavez Huacanca con DNI: 44108104 a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presentan en la presente en esta tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Cesar Vallejo.

Lima, septiembre del 2017



---

Juan Ever Chavez Huacanca

## PRESENTACION

Señores miembros del jurado

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada "Descontaminación de las Aguas Residuales del Proceso de Cromado de una Empresa de Galvanoplastia Mediante la Electrocoagulación", la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Juan Ever Chavez Huacanca

## INDICE GENERAL

Dedicatoria.....	I
Agradecimiento.....	II
Declaración de autenticidad.....	III
Presentación.....	IV
Índice.....	V
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
I. INTRODUCCION.....	1
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
1.2. TRABAJOS PREVIOS.....	3
1.3. TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA.....	8
1.3.1. Industria de Galvanoplastia.....	8
1.3.2. Tratamiento de aguas residuales de origen galvánicos.....	11
1.3.3. Contaminación por cromo.....	12
1.3.4. Coagulación y Floculación.....	12
1.3.5. Electrocoagulación.....	13
1.3.6. Factores que afectan el proceso de electrocoagulación.....	14
1.3.7. Reactores tipo Batch.....	16
1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	19
1.5. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO.....	20
1.6. HIPOTESIS.....	22
1.6.1. Hipótesis general.....	22
1.6.2. Hipótesis Específicos.....	22
1.7. OBJETIVOS.....	23
1.7.1. Generales.....	23
1.7.2. Específicos.....	23

II. METODO.....	23
2.1. Diseño de Investigación .....	23
2.1.1. Tipo.....	23
2.1.2. Diseño .....	24
2.1.3. Nivel.....	25
2.2. Variables.....	25
2.2.1. Independiente.....	25
2.2.3 Operacionalización de variables .....	26
2.3. Población y muestra .....	28
2.3.1. Población .....	28
2.3.2. Muestra .....	28
2.4. Técnicas instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	28
2.4.1. Técnicas.....	28
2.4.2. Instrumentos de recolección de datos.....	28
2.4.3. Validación y confiabilidad del instrumento.....	30
2.4.4. Procedimiento de recolección de datos .....	31
2.5. Método de análisis de datos .....	40
2.6. Aspectos éticos.....	42
III. RESULTADOS .....	43
IV. DISCUSIÓN.....	73
V. CONCLUSIONES .....	75
VI. RECOMENDACIONES .....	76
VII. REFERENCIAS.....	77
ANEXOS .....	80
✓ Instrumentos	
✓ Validación de los instrumentos	
✓ Matriz de consistencia	



## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Generación de Residuos Contaminados en la Galvanoplastia....	10
Tabla N°02: Factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación....	24
Tabla N°03: Operacionalización de variables.....	26
Tabla N°04: Combinación tipo de electrodo y distancia entre electrodos en la electrocoagulación.....	29
Tabla N°05: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	29
Tabla N°06: Resultados de análisis inicial.....	35
Tabla N° 07: Rangos de los parámetros que se tomaron en cuenta en el proceso de la electrocoagulación.....	37
Tabla N°08: Prueba para una muestra en SPSS.....	41
Tabla N°09*: Prueba de normalidad en SPSS.....	42
Tabla N°10: Variación de conductividad, pH y concentración de cromo hexavalente en el tiempo – Primer Tratamiento.....	43
Tabla N°11: Variación de conductividad, pH y concentración de cromo hexavalente en el tiempo – Segundo Tratamiento.....	46
Tabla N°12: Variación de conductividad, pH y concentración de cromo hexavalente en el tiempo – Tercer Tratamiento.....	49
Tabla N°13: Variación de conductividad, pH y concentración de cromo hexavalente en el tiempo – Cuarto Tratamiento.....	52
Tabla N°14: Variación de conductividad, pH y concentración de cromo hexavalente en el tiempo – Quinto Tratamiento.....	55
Tabla N°15: Variación de conductividad, pH y concentración de cromo hexavalente en el tiempo – Sexto Tratamiento.....	58

Tabla N°16: Variación de conductividad, pH y concentración de cromo hexavalente en el tiempo – Séptimo Tratamiento.....	61
Tabla N°17: Variación de conductividad, pH y concentración de cromo hexavalente en el tiempo – Octavo Tratamiento.....	64
Tabla N° 18: Resultados de los experimentados realizados en todo el proceso de electrocoagulación para la remoción de cromo hexavalente.....	67
Tabla N° 19: Eficacia de los tipos de electrodos con respecto a la reducción del cromo hexavalente en el proceso de electrocoagulación.....	68
Tabla N°20: Eficacia de la distancia y el número de electrodos con respecto a la reducción del cromo hexavalente en el proceso de electrocoagulación.....	69
Tabla N°21: Relación existente entre la concentración de cromo hexavalente y el pH en el proceso de electrocoagulación.....	70
Tabla N°22: Relación existente entre la concentración de cromo hexavalente y el porcentaje de remoción de cromo hexavalente en el proceso de electrocoagulación.....	71
Tabla N°23: Relación existente entre la concentración de cromo hexavalente y el Tiempo de retención en el proceso de electrocoagulación.....	71
Tabla N°24: Relación existente entre la concentración de cromo hexavalente y la conductividad en el proceso de electrocoagulación.....	72

## INDICE DE FIGURAS

Figura N°01: Proceso de Electrocoagulación.....	14
Figura N° 02: Reactor con electrodos monopolares conectados en paralelo...	17
Figura N° 03: Reactor con electrodos monopolares conectados en serie.....	17
Figura N°04: Diagrama de Flujo del proceso de investigación.....	31
Figura N°05: Dimensiones de la celda de electrocoagulación.....	32
Figura N°06: Diseño del electrodo.....	33
Figura N°07: Funcionamiento de la fuente eléctrica.....	34
Figura N°08: Recolección de la muestra de estudio.....	34
Figura N°09: Limpieza de la Celda.....	36
Figura N°010: Lavado de electrodos.....	36
Figura N°11: Número de electrodos.....	37
Figura N°12: Medición de conductividad y pH.....	38
Figura N°13: Limpieza del reactor después del proceso de electrocoagulación.....	39
Figura N°14: Oxidación del aluminio.....	39
Figura N°15: Concentración de cromo hexavalente vs Tiempo – Primer Experimento.....	44
Figura N°16: pH en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Primer Experimento.....	45
Figura N°17: Conductividad en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Primer Experimento.....	45
Figura N°18: Concentración de cromo hexavalente vs Tiempo – Segundo Experimento.....	47
Figura N°19: pH en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Segundo Experimento.....	48

Figura N°20: Conductividad en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Segundo Experimento.....	48
Figura N°21: Concentración de cromo hexavalente vs Tiempo – Tercer Experimento.....	50
Figura N°22: pH en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Tercer Experimento.....	51
Figura N°23: Conductividad en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Tercer Experimento.....	51
Figura N°24: Concentración de cromo hexavalente vs Tiempo – Cuarto Experimento.....	53
Figura N°25: pH en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Cuarto Experimento.....	54
Figura N°26: Conductividad en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Cuarto Experimento.....	54
Figura N°27: Concentración de cromo hexavalente vs Tiempo – Quinto Experimento.....	56
Figura N°28: pH en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Quinto Experimento.....	57
Figura N°29: Conductividad en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Quinto Experimento.....	57
Figura N°30: Concentración de cromo hexavalente vs Tiempo – Sexto Experimento.....	59
Figura N°31: pH en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Sexto Experimento.....	60
Figura N°32: Conductividad en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Sexto Experimento.....	60
Figura N°33: Concentración de cromo hexavalente vs Tiempo – Séptimo Experimento.....	62

Figura N°34: pH en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Séptimo Experimento.....	63
Figura N°35: Conductividad en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Séptimo Experimento.....	63
Figura N°36: Concentración de cromo hexavalente vs Tiempo – Octavo Experimento.....	65
Figura N°37: pH en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Octavo Experimento.....	66
Figura N°38: Conductividad en aguas del proceso de lavado vs Tiempo – Octavo Experimento.....	66

## INDICE DE ANEXOS

Anexo N°01: Ubicación de la empresa Hm Cromo Oleohidráulica SRL.....	80
Anexo N°02: Mapa de ubicación del equipo en la planta.....	81
Anexo°03: Concentración de cromo hexavalente en el proceso de electrocoagulación.....	82
Anexo N°04: Ficha observacional de recolección de datos.....	84
Anexo N°05: Matriz de Consistencia.....	85
Anexo N°06: Informe de Laboratorio análisis inicial.....	86
Anexo N°07: Informe de Laboratorio después del tratamiento.....	88
Anexo N° 08: Valores Máximos Admisibles de las descargas de aguas residuales No Domésticas.....	110
Anexo N° 09: Recolección de datos del proceso de electrocoagulación.....	111
Anexo N° 10: Presupuesto para el desarrollo del experimento del proceso de electrocoagulación.....	112
Anexo N° 11: Diagrama de flujo del proceso de la Galvanoplastia.....	113

## RESUMEN

Actualmente no se tiene un registro exacto sobre las descargas de los efluentes de las industrias galvánicas, debido a la informalidad y poca información que poseen las autoridades competentes del sector. Sin embargo existen antecedentes que esta actividad genera contaminación en las redes de alcantarillado, dañando el medio ambiente, animales y en la salud de las personas.

En la presente investigación el objetivo fue determinar la eficacia del método de electrocoagulación para la remoción del cromo hexavalente en las aguas residuales producidas en el proceso de cromado, donde se genera un volumen de 0.11 m<sup>3</sup> de descarga semanal de dicho efluente en la empresa Hm Cromo Oleohidráulica SRL y se necesitó para cada experimento un volumen de 15.7 L.

En la electrocoagulación el coagulante es formado in situ debido a la disolución de iones del metal del electrodo de sacrificio, que será llamado como ánodo y el cátodo se encarga de la generación de hidrogeno gaseoso, que ayuda a la flotación de los flóculos formados.

La aplicación del método de la electrocoagulación a las aguas residuales del proceso de cromado fueron llevados a cabo en 08 experimentos donde cada experimento tenía una duración de 60 minutos, combinación de electrodos entre aluminio y acero inoxidable 316, distancia entre electrodos de 2 cm y 3 cm y una distribución de electrodos entre 8 y 12 placas. Como resultado se obtuvo una remoción media del cromo hexavalente de 50,24 %, pero teniendo mejor resultado en el experimento N° 4 con un 79.12 % en la remoción de cromo hexavalente.

Palabras claves: Electrocoagulación, remoción, efluentes

## ABSTRACT

Currently, there is no accurate record on discharges of effluents from industries, due to the galvanic informality and little information with the competent authorities of the sector. However, there is a history that this activity generates pollution in sewerage networks, damaging the environment, animals and on the health of the people.

In the present investigation the purpose of this study was to determine the effectiveness of the method of electrocoagulation for the removal of hexavalent chromium in wastewater produced in the process of Chrome, where it generates a volume of 0.11 m<sup>3</sup> download weekly of the effluent on the company Hm Cromo Oleohidráulica SRL and was needed for each experiment a volume of 15.7 L.

In the electrocoagulation the coagulant is formed in situ due to the dissolution of metal ions of the electrode of sacrifice, which will be called as the anode and the cathode, is responsible for the generation of hydrogen gas, which helps to the floating of the floccs formed.

The application of the method of electrocoagulation to wastewater from the plating process were carried out in 08 experiments where each experiment had a duration of 60 minutes, combination of electrodes between aluminum and stainless steel 316, distance between electrodes of 2 cm and 3 cm and a distribution of electrodes between 8 and 12 plates. As a result, an average of the hexavalent chromium removal of 50.24 %, but with the best results in the experiment No. 4 with a 79.12 % in removal of hexavalent chromium.

Keywords: Electrocoagulation, removal, effluents