

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN



CENTRO DE INVESTIGACIÓN:

**TECNOLOGIAS ECOLOGICAS RACIONALES PARA EL
TRATAMIENTO DE EFLUENTES**

QUINTO INFORME TRIMESTRAL

**“SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA
LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES
INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL”**

Docente Responsable: Dr Máximo Fidel Baca Neglia

Callao, 2020

PERÚ

INFORMACION BASICA

1. INFORME TRIMESTRAL N° 5
2. PERIODO: 1° de Enero de 2020 al 31 de Marzo de 2020
3. TITULO DE LA INVESTIGACIÓN: **“SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL”**
4. CENTRO DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías ecológicas racionales para el tratamiento de efluentes.
5. PROFESOR RESPONSABLE: Dr. Máximo Fidel Baca Neglia - 1233
 - 5.1. CATEGORÍA: Asociado
 - 5.2. DEDICACIÓN: Tiempo Completo
 - 5.3. CONDICIÓN: Ordinario
6. PROFESORES PARTICIPANTES
 - 6.1. MARÍA TERESA VALDERRAMA ROJAS
 - 6.1.1. CATEGORIA: Principal
 - 6.1.2. DEDICACIÓN: Tiempo Completo
 - 6.1.3. CONDICIÓN: Ordinario
 - 6.2. JANET MAMANI RAMOS
 - 6.2.1. CATEGORIA: Auxiliar
 - 6.2.2. DEDICACIÓN: Tiempo Completo
 - 6.2.3. CONDICION: Ordinario
 - 6.3. JOSE PABLO RIVERA RODRIGUEZ
 - 6.3.1. CATEGORIA: Auxiliar
 - 6.3.2. DEDICACIÓN: Tiempo Parcial
 - 6.3.3. CONDICIÓN: Ordinario
 - 6.4. TEOFILO ALLENDE CCAHUANA
 - 6.4.1. CATEGORIA: Principal
 - 6.4.2. DEDICACIÓN: Tiempo Parcial

6.4.3. CONDICIÓN: Ordinario

6.5. ABNER JOSUE VIGO ROLDAN

6.5.1. CATEGORIA: Auxiliar

6.5.2. DEDICACIÓN: Tiempo Completo

6.5.3. CONDICIÓN: Ordinario

6.6. SERGIO LEYVA HARO

6.6.1. CATEGORIA: Asociado

6.6.2. DEDICACIÓN: Tiempo Completo

6.6.3. CONDICIÓN: Ordinario

7. ESTUDIANTES DE APOYO

7.1. ARCE HUAMANI FRANKLIN	-	46671044
7.2. CRUZ CHIROQUE IVÁN ANTHONY	-	47417106
7.3. GUISELA LIZETT CONDORI APAZA	-	44124178
7.4. DELGADO RUIZ HORACIO	-	41225537
7.5. JEAN PAUL SARCO INMENSO	-	10788316

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	05
II	AVANCE DEL PROYECTO SEGÚN EL CRONOGRAMA	
2.1.	Esquema propuesto para el tratamiento de los efluentes.	06
2.2.	Determinación de parámetros hidráulicos para el diseño de la planta o sistema de tratamiento.	06
2.2.1.	Determinación del caudal de tratamiento y diseño del tanque de homogeneización.	07
2.2.2.	Velocidad de Sedimentación y Volumen de los lodos.	08
2.3.	Diseño del sistema para el tratamiento físico químico	12
2.3.1.	Descripción de las unidades de mezcla rápida y floculación.	13
2.3.2.	Sedimentador Lamelar.	14
2.3.3.	Sistema de dosificación de Reactivos de Neutralización - Coagulación – Floculación.	14
III.	CONCLUSIONES RESPECTO AL AVANCE	16
IV.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS	17
	ANEXOS	18
	Paper: ESTUDIO CINETICO DE LA REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE Y DE CROMO TOTAL POR LA CORTEZA DEL ARBOL DE PIRUL.	19
	Cronograma de Control de Avance	26

QUINTO INFORME TRIMESTRAL

I. INTRODUCCIÓN.-

El presente proyecto de investigación denominado “**SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL**”, en su Quinto Informe, se presenta el esquema de la planta de tratamiento, los parámetros hidráulicos y el diseño del sistema de tratamiento, que permita el tratamiento fisicoquímico para la remoción del Cromo (Cr) del efluente industrial, acondicionando el pH del efluente a 2.00 unidades, con la finalidad de remover el Cr VI a Cr III, y luego de elevar el pH a 11 unidades se precipitara el Cr III y finalmente los efluentes una vez tratados puedan disponerse en el alcantarillado de la ciudad como punto de disposición final, cumpliendo con la normatividad vigente, como el referido al DS N° 021-2009-VIVIENDA del 20 de noviembre 2009, su Reglamento aprobado por DS N° 003-2011-VIVIENDA del 22 de mayo 2011 y la modificatoria del DS N° 021-2009-VIVIENDA, aprobada por DS N° 001-2015-VIVIENDA del 09 de enero del 2015.

Los efluentes industriales con alto contenido de metales específicamente el Cr (VI) y Cr total que se hallan contaminados por la presencia de este metal y que sin tratamiento no cumplen con los Valores Máximos Admisibles (VMA) aprobados por el DS N° 001-2015-VIVIENDA, son los provenientes de la Industrias del Cueros (curtido de pieles), Industrias Textiles (pigmento de color), Industrias de Recubrimiento Metálico (procesos electro galvánicos), Industria Químicas (fungicidas, anticorrosivos) entre otras.

Como se dijo, para nuestro caso hemos evaluado los efluentes de una industria galvánica, para ello, nos hemos puesto en contacto hasta con tres factorías industriales dos de las cuales se ubican en el Callao, tales como **JAHESA Aceros Inoxidables S.A.** e **Industrias del Zinc S. A.**, que nos han permitido la extracción de muestras puntuales y compuestas, cuyos resultados presentáramos en nuestros informes pasados.

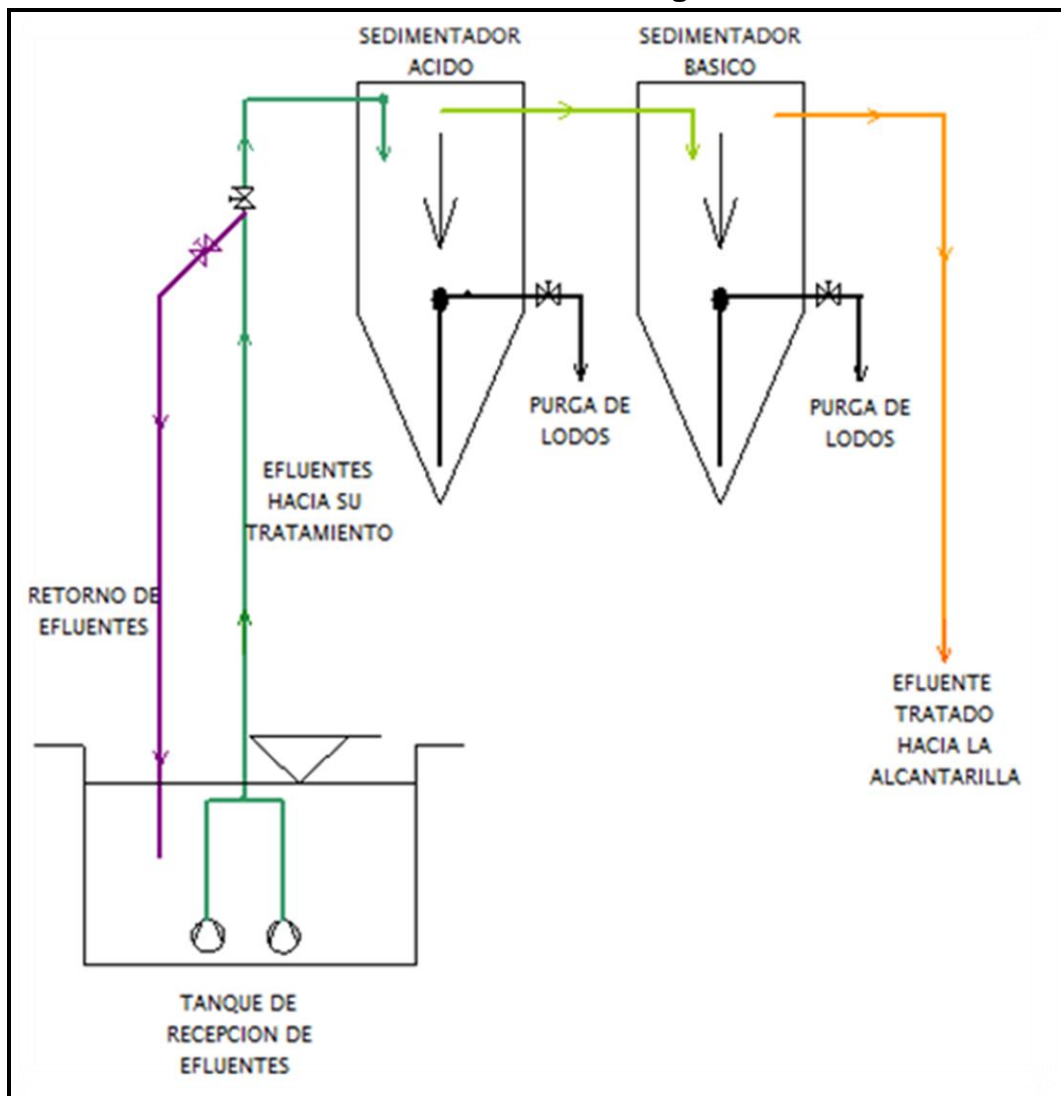
II. AVANCE DEL PROYECTO SEGÚN CRONOGRAMA.- Como resultado de los avances se dieron los siguientes resultados:

2.1. Esquema propuesto para el tratamiento de los efluentes.- De acuerdo a las pruebas de simulación y de las Pruebas de Jarras (PJ), el tratamiento propuesto para el tratamiento físico químico estará constituido de un Tanque para la homogeneización del efluente, debido a que durante las 08 horas a 12 horas que laboran estas empresas, generan efluentes de diferentes calidades y caudales, por ello se deberán tratar los efluentes a caudal constante y en lo posible con las mismas características, proponiendo para ello un tanque denominado ecualizador o homogeneizador, siendo necesario para la remoción del Cromo VI a Cromo III, modificar el pH inicial de la muestra que estaría en el orden de 7 a 5 unidades y para el tratamiento se hace necesario la reducción a pH menor de 2 unidades, luego de dosificar los coagulantes y floculantes para precipitar los metales incluido el Cromo VI, todo esto ocurrirá en el primer sedimentador con cámara de mezcla rápida y floculador de pantallas para luego pasar a un sedimentador de placas, el sobrenadante ácido pasara por gravead a un segundo sedimentador similar al primero pero en este el pH del efluente acido se elevara hasta 11 unidades con adición de Soda Cautica, que permita precipitar el Cr III con la adición de floculantes y coagulantes y regular el pH a valores de 7.5 unidades, para ello se propone el diagrama de flujo para el diseño de la planta de tratamiento de los efluentes provenientes de una industria galvánica que se muestra en la **Figura 1**.

2.2. Determinación de parámetros hidráulicos para el diseño de la planta o sistema de tratamiento.- Previamente al diseño del sistema de tratamiento, se tendrá en cuenta las facilidades existentes en la Planta Industrial donde se generan los efluentes, estas facilidades tiene que ver con la líneas de desagüe industrial existente así como el lugar donde se ubicaría el sistema de tratamiento, para este caso se muestra la **Figura 2** que muestra el Plano de Distribución de una Planta Industrial del Sector Galvánico. Además, para el diseño de la planta será necesario

seleccionar los parámetros hidráulicos, obtenidos a partir de las Pruebas de Jarras (PJ), como el de gradiente de mezcla, de floculación, tiempos de mezcla y floculación, volúmenes de lodos generados, caudales provenientes de los aforos del desagüe, velocidad de sedimentación de lodos, entre otros.

Figura 1
Diagrama de Flujo para el Diseño de la planta de tratamiento de los efluentes de una industria galvánica.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.1. Determinación de caudal de tratamiento y diseño del tanque de homogeneización.- para el cálculo del caudal de tratamiento y el diseño del tanque de homogeneización se hace necesario aforar el caudal del efluente durante las horas de trabajo de la factoría o la

empresa donde se realizan las diversas actividades galvánicas. caudal de tratamiento (promedio).

Se programaron las actividades de aforo en una de las empresas, obteniendo el aforo que se presenta en la **Tabla 1**, siguiente:

Tabla 1

Periodo de tiempo horas	Volumen aforado cada hora (M³/hora)	Volumen acumulado de caudal al final del periodo del tiempo, M³
00:00:00	0.00	0.00
08:00:00	0.38	0.38
09:00:00	0.33	0.71
10:00:00	0.35	1.06
11:00:00	0.43	1.49
12:00:00	0.44	1.93
13:00:00	0.54	2.47
14:00:00	0.68	3.15
15:00:00	0.48	3.63
16:00:00	0.71	4.34
17:00:00	0.15	4.49

Fuente: Elaboración propia

A partir del aforo, se realiza la curva correspondiente de Periodos de tiempo en horas vs. El de Volúmenes de caudales acumulados, para determinar el Volumen del tanque de Homogeneización, siendo este de 2.95 M³, la curva de los volúmenes acumulados, determinan por cierto el volumen generado de efluente total de la planta de galvanizado, siendo este de 4.49 M³, lo que permite calcular el caudal promedio diario de tratamiento, es decir de 187.5 Litros / hora o dicho de otra manera 0.188 M³/hora, lo que equivaldrá al caudal de diseño del sistema de tratamiento de los efluentes generados.

2.2.2. Velocidad de Sedimentación y Volumen de los lodos.- A partir de las PJ en la que se obtuvieron las dosis promedios de los reactivos químicos que permitieron la reducción del Cr VII y III del efluente dentro de los VMA, con el fin de obtener la velocidad de sedimentación, se trasvasa un litro del efluente tratado dentro de una probeta de un litro, de

Figura 2.
Plano de Distribución de una Planta Industrial del Sector Galvánico

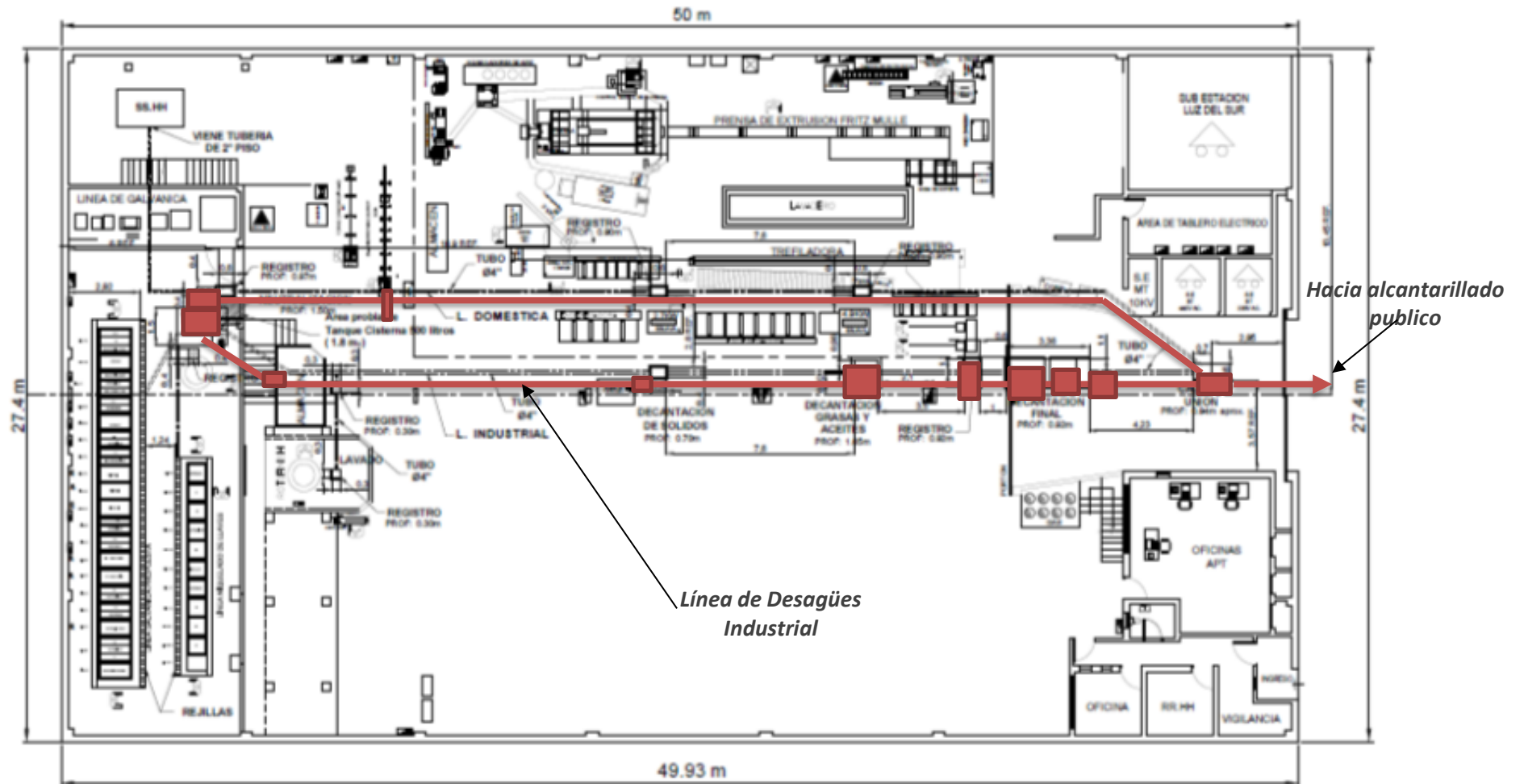
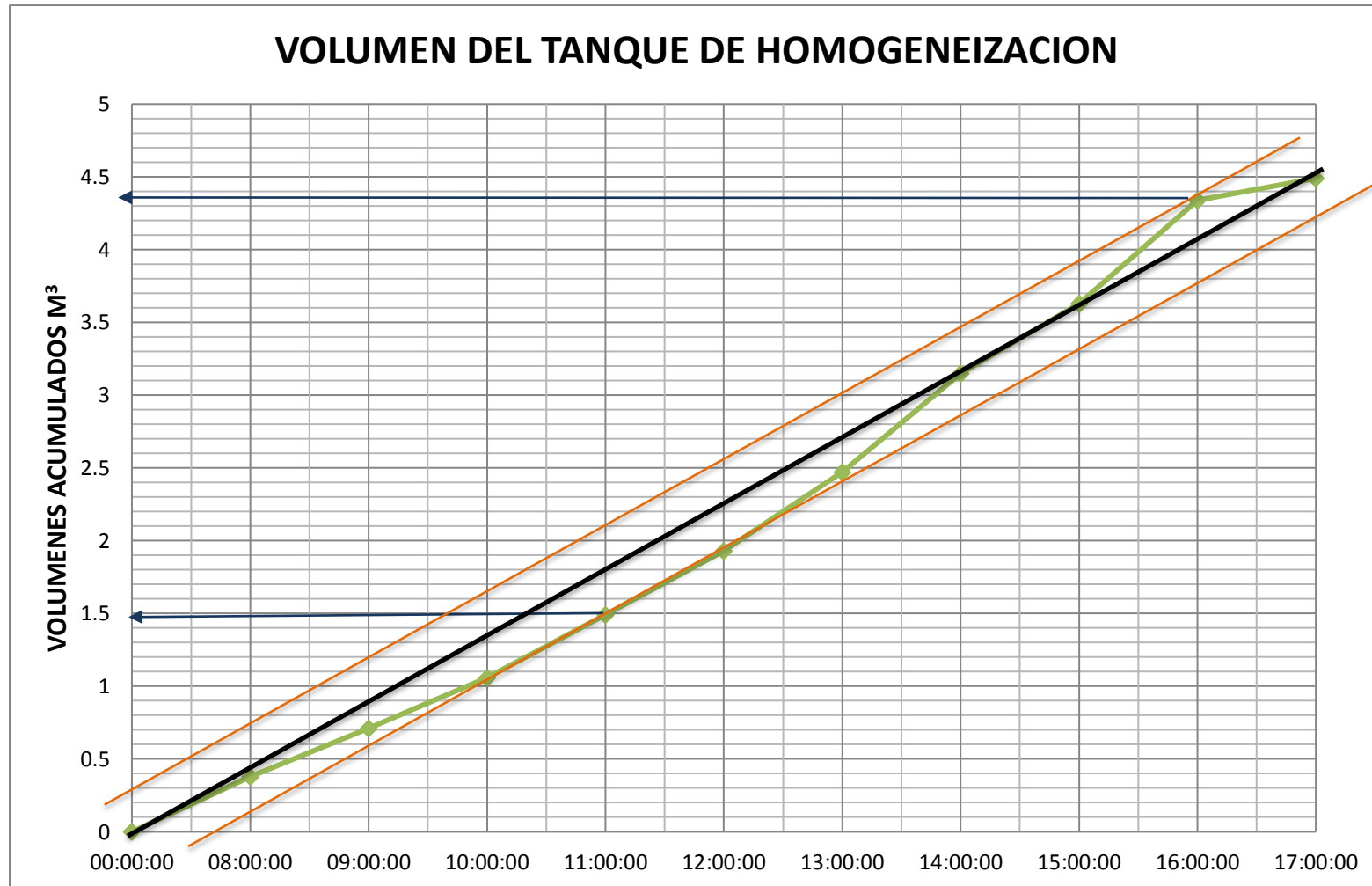
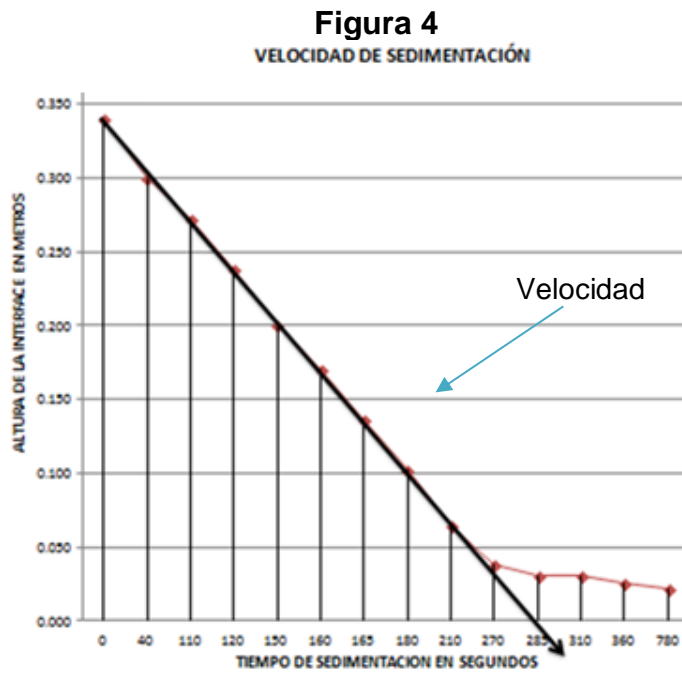


Figura 3



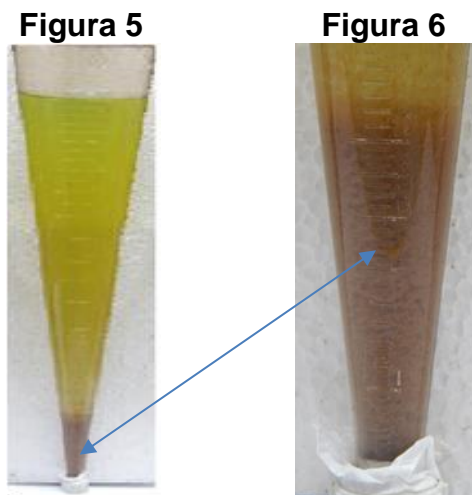
Fuente: Elaboración Propia

modo que a medida que pasa el tiempo, se anota la altura del lodo y del sobrenadante al cabo de 15 minutos se detuvo la prueba para graficar la curva de sedimentación (Curva de Kynch), ver las **Figuras 4 y 5**.



Fuente: Elaboración propia

La velocidad de sedimentación esta dada por la pendiente o tangente a la curva de sedimentación, obteniendo una la velocidad de 0.107 M/seg 6.42 M/hora. Por otro lado, se estimó el volumen de lodos ó volumen de solidos sedimentables al cabo de una hora, para ello se trasvaso un litro del efluente tratado en forma similar al requerido para la velocidad de sedimentación a un cono de Inhoff, encontrando el volumen de 10 mL/L, ver **Figura 5**.



Fuente: Elaboración propia

2.3. Diseño del sistema para el tratamiento físico químico.- La planta de tratamiento estará diseñada para tratar un caudal equivalente al doble del promedio registrado, es decir de 187.5 L/hr, con capacidad total de 4.5 M³/día, que cubrirá alguna situación de emergencia o requerimiento futuro.

Esta planta estará constituida de cuatro estructuras completamente definidas una correspondiente a la unidad denominada Tanque de homogeneización, debido a que la planta cuenta con una antigua Cisterna para almacenamiento de Agua, se aprovechara la misma para acondicionarla y trabaje como tanque de Homogeneización, el mismo que ya ocupa un área dentro del local de la planta, aprovechando el área disponible para ubicar las nuevas estructuras de tal forma que se cuenta con el área total disponible para ubicar las unidades en forma continua, se ha diseñado las unidades teniendo en cuenta el área disponible.

El tanque de homogeneización ocupa un volumen de 5.8 M³, siendo el volumen útil de 4.5 M³, esta capacidad permite cubrir toda la demanda aproximada de la 8 horas de trabajo en situación normal, al trabajarse a caudal constante a partir de este tanque se puede predecir que de ponerse en servicio el tratamiento de los efluentes a partir de las 17:00 horas entonces a las 8:00 hrs, del día siguiente han transcurrido 15 hrs, quedando entonces el tanque un volumen del orden de 1312.5 Litros y un volumen de vacío 3187.5 Litros suficiente para recepcionar el efluente de la actividad de enjuague del día, el homogeneizador cumplirá la función de homogenizar las características de los efluentes previas a su neutralización y la principal de permitir que el Sedimentador trabaje a caudal constante, por lo que esta unidad actuara como una tanque de amortiguación, manteniendo una reserva de agua cuando la fábrica no esté produciendo o el caudal de enjuague se halle por debajo del promedio, y por otro lado una capacidad de recepcionar caudales mayores del promedio que se presente. Esta unidad estará equipada de dos pequeñas electrobombas de capacidad cada una de 187.5 L/hr. provistas con sistema de seguridad de flotadores, pudiendo ser sumergidas ó de succión positiva por su pequeño caudal se elegirá del

tipo diafragma, de modo que se mantendrá una operativa y la segunda en stand by, lo cual se podrá disponer en forma manual, el efluente se conducirá a través de tubería de PVC con diámetro de 1", antes de su acometida hacia el sedimentador se adicionara en la misma tubería el reactivo neutralizante, primero para el sedimentador que trabajara a pH ácido, que se dosificara solución de Ácido Clorhídrico y/o Cloruro férrico y otra para el segundo sedimentador que se le dosificara solución de Soda Caustica, en ambos sedimentadores, previos al ingreso, el efluente ingresara a un pre tanque de mezcla rápida (Coagulación) en esta, se aplicará el polímero catiónico y el polímero aniónico, para luego ingresar a un tanque que cuente con placas deflectoras que permitirán la Floculación, para dirigirse las aguas así sedimentador.

Se estima que el nivel de las aguas en el tanque de homogeneización cuando este se halle a volumen lleno será de - 0.45 m por debajo de la loza (piso de la sala de piscina galvánica - acotando como 0.0 m de referencia: **Ip**).

2.3.1. Descripción de las unidades de mezcla rápida y floculación.-

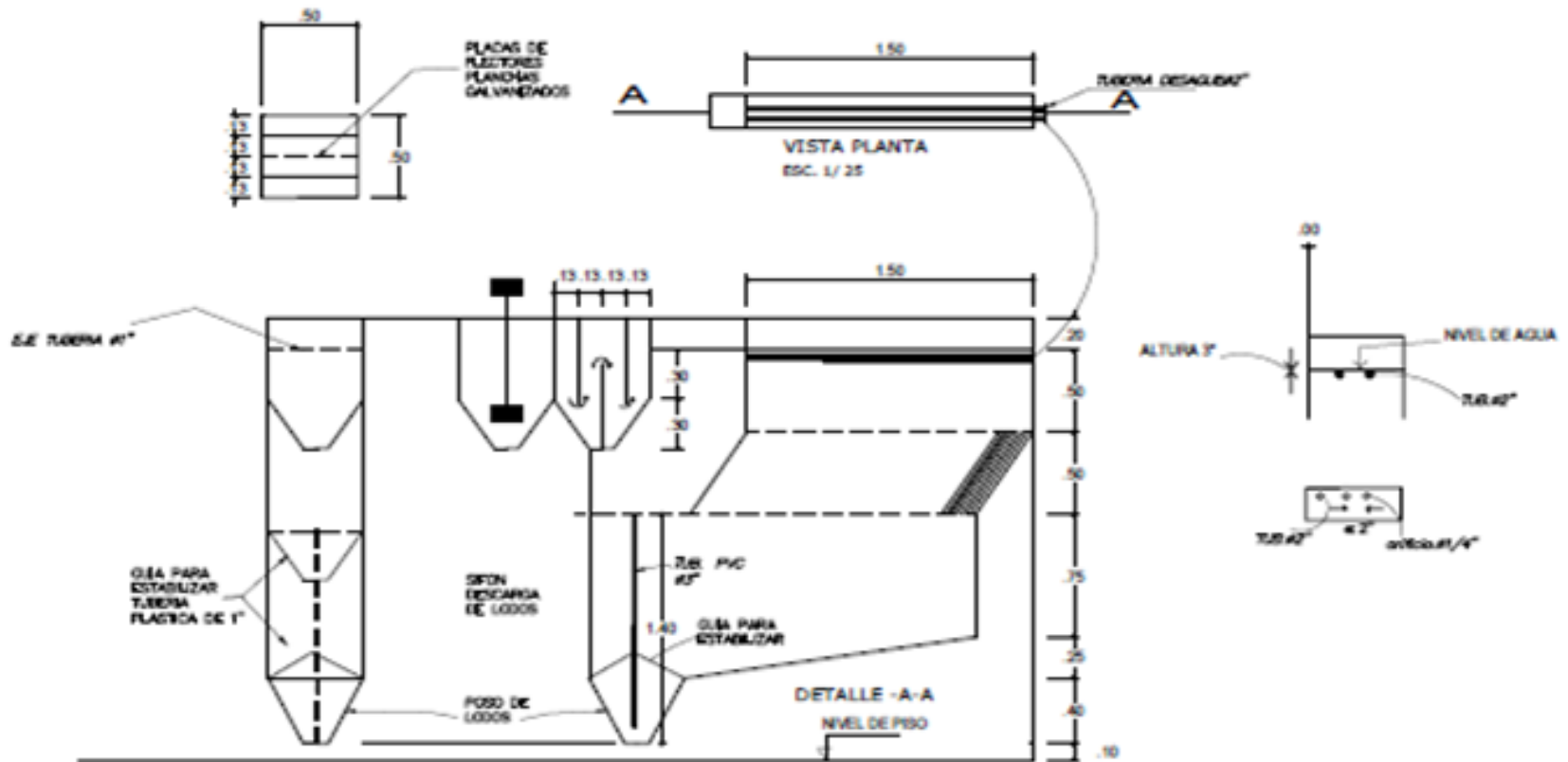
Los efluentes serán conducidos hacia la **Unidad de Mezcla y Floculación** previas al sedimentador Lamelar o placas, la unidad de mezcla rápida, estará constituido de un tanque adosado a la propia estructura del sedimentador de placas, se contara con dos sistemas similares, el primero para trabajar a pH ácido y el segundo a pH básico, es decir en el primero se reducirá el Cr VI y el segundo el Cr III, ambos se construirá con planchas de acero, estando el primero revestido de laminas de PVC, por estará sometido a pH cercano a 1.5 unidades. La unidad de Mezcla Rápida tendrá un volumen de 100 litros, acompañado de un agitador con motos de ½ Hp, a velocidad de 600 rpm, contiguo, el efluente pasara al floculador de flujo vertical, el cual estará constituido de un tanque de 110 litros, con deflectores o placas de acero revestidos de PVC para el primero separadas cada 10 cm de forma equidistante, que permita al efluente ascender y descender, desde su ingreso hasta la salida que coincidirá con la acometida hacia el sedimentador de placas.

2.3.2. Sedimentador Lamelar.- Las aguas en el Sedimentador de Lamelar, se hallaran en el ingreso a +/- 2.50 m sobre el nivel de la losa del piso (**lp**), así la descarga de los efluentes se efectuara por rebose a través del sistema de recolección tuberías sumergidas (diámetro de 2" de PVC, con perforaciones de ¼" para el ingreso del efluente decantado, habrán dos tubos instalados a lo largo que se ubicara apenas semi sumergido dentro del decantador de placas, de modo que por rebose captara el efluente tratado, los cuales contendrán un mínimo residual cumpliendo con los VMA, los mismos que podrían recircularse para la operación de enjuague, reduciendo por consiguiente el consumo de agua y reduciendo el volumen de efluente derivado a la alcantarilla de SEDAPAL y ahorro en el consumo de agua.

La zona de clarificación en el sedimentador tendrá una profundidad de 1 metros, que incluye la altura del agua sobre las láminas y la altura de las mismas láminas este módulo o conjunto de láminas tendrá una inclinación ó pendiente de 60°. Debajo de las láminas se halla la zona lodos con una profundidad de 1.00 m, y por debajo de esta se hallaran la tolva para concentrar los lodos, cuya profundidad es de 0.40 m, estos lodos concentrados serán evacuados por acción de un sifón que se operar en forma manual a través de la tubería del sifón se podrá instalar una bandeja o deposito acompañado de tela filtrante para separar los lodos (solidos) de la parte liquida, esto sólidos una vez secos podrán ser dispuesto como residuos peligroso como si fueran solidos provenientes de las pozas de galvanizado. Se ha previsto sobre el nivel de las aguas dentro del sedimentador de un Borde Libre del orden de 0.20 m por encima del nivel de agua (NA = 2.5 m). El efluente tratado se podrá conducir hacia el sumidero más próximo o alcantarillado existente para su disposición final a la red sanitaria de SEDAPAL, ver **Figura 7**.

2.3.3. Sistema de dosificación de Reactivos de Neutralización-Coagulación - Flocculación.- Estará constituido de cuadro bombas dosificadoras cada una con su respectivo tanque para almacenar y/o prepara la solución del reactivo a dosificar.

Figura 7
Vista del Sedimentador Sistema de Tratamiento, Constituido de la Unidad de Mezcla Rápida
Cámara de Floculación y Sedimentador Lamelar



Fuente: Autoría Propia

Para el caso de la solución de Soda Caustica, contara con tanque de 100 litros de capacidad de almacenamiento, construido en polietileno resistente, agitador de acero inoxidable con motor de ¼” y línea de agua para preparar solución al 10 O 20% para su aplicación con electrobomba, la electrobomba dosificadora del tipo diafragma para graduar caudal de dosificación y línea de descarga a presión.

Para el caso de la solución de Acido Clorhídrico o Cloruro Férrico, contara con tanque de 100 litros de capacidad de almacenamiento, construido en polietileno, la electrobomba dosificadora del tipo diafragma para graduar caudal de dosificación y línea de descarga a presión.

Para el caso del polímero Catiónico, contara con un tanque de capacidad de 100 litros construido en polietileno y un agitador con motor eléctrico de ½” Hp y línea de agua para diluir el polímero catiónico. Electroboomba dosificadora para mediana viscosidad del tipo pistón o diafragma para aplicación a presión.

Para el caso del polielectrolito o polímero Aniónico, este contara con un tanque de 100 litros fabricado en polietileno, con línea de agua y agitador para preparar solución, cuya característica es su alta viscosidad al 0.1 %, para ello la electrobomba será de pistón o diafragma.

III CONCLUSIONES RESPECTO AL AVANCE.-

Las pruebas de jarras han permitido determinar el tratamiento físico químico como alternativa para tratar los efluentes generados en la industria de galvanizados, o de aquellas industrias que tiene en su contenido el Cromo, de modo que también lo sería los efluentes de la industria de cueros entre otras. Este sistema estaría constituido por:

Tanque de Ecuilizador ó de Homogeneización;

Dos (02) Electrobombas de Trasvase;

Un (01) Sedimentador de placas, con cámara de mezcla (incluido electro agitador de velocidad) y floculador de placas de flujo vertical. Que trabajara en medio acido,

Un (01) sedimentador de placas, similar al primero, pero este trabajara en medio básico.

Juego de bombas dosificadoras,

- Una (01) para dosificar Ácido clorhídrico;
- Una (01) para dosificar Cloruro férrico ó Sulfato de aluminio.
- Una (01) para dosificar Polímero catiónico.
- Una (01) para dosificar Polímero aniónico.
- Una (01) para dosificar Soda cáustica.
- Un sistema para preparar solución de polímero aniónico (solido granulado) constituido de balanza, agitador de alta velocidad y tanque de dilución.

IV REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.-

Se revisan los siguientes materiales bibliográficos.-

Acosta et al. (2009). **Identificación del Manejo de Metales de Vertimientos de la Industria Galvánica.** Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina.

Barrera Díaz, Carlos E. (2014). **Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de aguas residuales.** Ed. Reverte S.A., España.

G. Salas Carlotta, (2005); **“Reúso de cromo en el tratamiento de Efluentes de una curtiembre”**, Revista Peruana de Química, Ingeniería Químia, Vol. N° 2, 2005. Páginas 61 - 67.

G. Espinosa Narváez & G. Mera Córdoba, (2015), **Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.** Tesis de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Manizales – Colombia.

Orozco Barrenechea C. et. al. (2004); **Contaminación Ambiental – Una visión desde la Química;** Ed. Thomson, España.

ANEXOS.-

Presentamos las actividades desarrolladas por los docentes miembros del centro de investigación:

- a. Docentes:** Dr. Máximo Baca Neglia
Lic. Janet Mamani Ramos.
Ing. Josué Vigo Roldan
Lic. Sergio Leyva Haro

Revisando el proyecto de tesis de los estudiantes:

BAZALAR RENZO ARROYO -
ORTEGA MANUEL RAMOS -

Título del Proyecto de Tesis.- “Remoción del Cadmio y del Cromo presente en los efluentes generados por la industria galvánica, mediante la electrocoagulación”

- b. Docentes:** MsC. Teresa Valderrama Rojas
Dr. Pablo Rivera Rodríguez
Mg. Allende Ccahuana Teófilo
Dr. Máximo Baca Neglia

Revisando el proyecto de tesis de los estudiantes:

GUISELA LIZETT CONDORI APAZA - 44124178
DELGADO RUIZ HORACIO - 41225537
JEAN PAUL SARCO INMENSO - 10788316

Título del Proyecto de Tesis.- “Evaluación de la eficiencia del reactor biológico secuencial de la planta piloto FIARN utilizando microorganismos eficaces en el tratamiento de efluentes residuales domésticos para su reúso en el riego de áreas verdes”

- d. Docentes:** Lic. Janet Mamani Ramos.
Ing. Josué Vigo Roldan
Lic. Sergio Leyva Haro
MsC. Teresa Valderrama Rojas
Dr. Pablo Rivera Rodríguez

Mg. Allende Ccahuana Teófilo

Dr. Máximo Baca Neglia

Revisión bibliográfica para el Proyecto en ejecución, denominado: "SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL"



Revista Cubana de Química

ISSN: 0258-5995

revcubanaquimica@cnt.uo.edu.cu

Universidad de Oriente

Cuba

Netzahual-Muñoz, A. R.; Cristiani-Urbina, M. C.; Cristiani-Urbina, E.
ESTUDIO CINÉTICO DE LA REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE Y DE CROMO
TOTAL POR LA CORTEZA DEL ÁRBOL DE PIRUL
Revista Cubana de Química, vol. XXII, núm. 3, 2010, pp. 3-8
Universidad de Oriente
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543720001>


- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ESTUDIO CINÉTICO DE LA REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE Y DE CROMO TOTAL POR LA CORTEZA DEL ÁRBOL DE PIRUL

A. R. Netzahuatl-Mañón*, M. C. Cristiani-Urbina**, E. Cristiani-Urbina* 

* Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México, **Universidad Autónoma de Chiapas, Chiapas, México

● Resumen

El objetivo principal de este trabajo fue realizar un estudio cinético de la remoción de cromo hexavalente [Cr(VI)] y de cromo total por la corteza del árbol de Pirul. Se encontró que en las primeras 24 h de contacto, las concentraciones de Cr(VI) y de cromo total disminuyeron desde 102 mg/L hasta 26, y 41,83 mg/L, respectivamente; a tiempos posteriores, las concentraciones continuaron disminuyendo más lentamente, hasta alcanzar niveles residuales de 4,44 mg de Cr(VI)/L y 28,82 mg de cromo total/L a las 120 h. A lo largo de todo el tiempo de contacto, se detectó cromo trivalente [Cr(III)] en la solución acuosa, lo que indica que la corteza del árbol de Pirul fue capaz de transformar parte del Cr(VI) a Cr(III). Las capacidades de remoción de Cr(VI) y de cromo total, así como de generación de Cr(III) se incrementaron gradualmente a medida que aumentó el tiempo de contacto, alcanzándose valores de 97,56; 73,18 y 24,38 mg/g, respectivamente, a las 120 h. Un comportamiento opuesto se observó con las velocidades volumétricas de remoción de Cr(VI) y de cromo total, así como de formación de Cr(III). Los resultados anteriores indican que la corteza del árbol de Pirul removió Cr(VI) por dos mecanismos diferentes: biosorción de cromo y reducción de Cr(VI) a Cr(III).

Palabras clave: corteza del árbol de Pirul, cromo hexavalente, cromo total, biosorción, reducción.

● Abstract

The main objective of this work was to study the kinetics of the removal of hexavalent chromium [Cr (VI)] and total chromium by Pirul tree bark. We found that in the first 24 h of contact, the concentrations of Cr (VI) and total chromium decreased from 102 mg / L to 26, and 41,83 mg / L, respectively, at later times, concentrations continued to decline over slowly, reaching residual levels of 4,44 mg of Cr (VI) / L and 28,82 mg total chromium / L at 120 h. Throughout all the time contact was detected trivalent chromium [Cr (III)] in aqueous solution, indicating that the tree bark Pirul was able to transform some of the Cr (VI) to Cr (III) . The removal capacities of Cr (VI) and total chromium, and generation of Cr (III) increased gradually to measures that increased contact time, reaching values of 97,56; 73,18 and 24,38 mg / g, respectively, at 120 h. An opposite behavior was observed with the volumetric rate of removal of Cr (VI) and total chromium, as well as formation of Cr (III). The above results indicate that tree bark Pirul removed Cr (VI) by two different mechanisms: biosorption of chromium and reduction of Cr (VI) to Cr (III).

Keywords: tree bark Pirul, hexavalent chromium, total chromium, biosorption, reduction.

● Introducción

El cromo es un metal pesado ampliamente utilizado en diversos procesos industriales, tales como en la galvanoplastia, curtido de pieles, producción de cintas magnéticas, pigmentos, tintas, películas fotográficas,

partes automotrices, equipo eléctrico y electrónico, entre otros /1,2/. Los grandes volúmenes de residuos que generan estas industrias y su manejo inadecuado han provocado la contaminación del aire, agua y suelo con este metal /3-5/.

El cromo existe en nueve estados de oxidación, del -2 al +6; sin embargo, en la naturaleza los estados más estables del cromo son el trivalente [Cr(III)] y el hexavalente [Cr(VI)] /6,7/. La forma hexavalente del cromo es altamente soluble en agua, móvil en el medio ambiente, tóxica, mutagénica, carcinogénica /8,9/, y es la más utilizada en los procesos industriales /10/, mientras que la forma trivalente es menos soluble, menos móvil /9/; 100 veces menos tóxica /11/; 1 000 veces menos mutagénica /12/ que la forma hexavalente y, además, es un elemento traza esencial necesario para el metabolismo de la glucosa y de lípidos, así como para la utilización de aminoácidos /2/.

Las aguas contaminadas con Cr(VI) son tratadas principalmente mediante la técnica de reducción química-precipitación; sin embargo, este método es ineficiente, peligroso y genera grandes cantidades de lodo químico tóxico que es difícil de tratar, manipular y disponer apropiadamente /13/. Los costos de inversión y de operación de las tecnologías no convencionales de tratamiento, tales como la adsorción con carbón activado, el intercambio iónico, evaporación recuperativa y la ósmosis inversa, son elevados para la mayoría de las empresas, por lo que su uso es muy limitado /14/. Por consiguiente, es de gran importancia desarrollar tecnologías económicas, eficientes y seguras para la remoción de cromo hexavalente y de otros metales tóxicos. Una tecnología potencial para la remoción de metales pesados de aguas contaminadas es la biosorción, en la cual se utilizan materiales metabólicamente inactivos para la separación del metal de las soluciones acuosas y la posterior recuperación de éste /15/. Los materiales biológicos inactivos más estudiados para la remoción de metales han sido principalmente la biomasa de algas, bacterias y hongos, y en menor medida los derivados de plantas y animales /16/.

El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio cinético de la remoción de cromo hexavalente y de cromo total por la corteza del árbol de Pirul.

• Métodos experimentales

Acondicionamiento del material biológico

La corteza del árbol de Pirul (*Schinus molle*) se lavó con agua destilada y se deshidrató en un horno a 60 °C por 24 horas. A continuación se molió en un

molino de martillos y se tamizó para obtener partículas con un tamaño de 0,3 a 0,5 mm.

Estudios de remoción de Cr(VI) y cromo total

Los experimentos de remoción de Cr(VI) y cromo total se realizaron en matraces Erlenmeyer que contenían solución de cromato de potasio a pH 2,0 y material biológico (partículas de la corteza del árbol de Pirul), con concentraciones iniciales de 102 mg de Cr(VI)/L y 1 g/L, respectivamente. Los matraces se mantuvieron en agitación constante (150 rpm) a 28 °C. En forma simultánea, se utilizó un control libre de material biológico. Se recolectaron muestras a diferentes tiempos de contacto, las cuales fueron filtradas a través de papel filtro (Whatman, grado 40). A los filtrados se les determinó la concentración de cromo hexavalente y de cromo total, así como el pH. Con los datos obtenidos se calcularon las capacidades y velocidades de remoción de cromo hexavalente y cromo total.

• Métodos analíticos

La determinación de la concentración de cromo hexavalente se realizó por el método de la 1,5-difenilcarbohidrazida, siguiendo los procedimientos descritos en el *Hach Water Analysis Handbook* /17/. La concentración de cromo total se cuantificó por espectrofotometría de absorción atómica (SpectrAA-100, Varian, Inc.), siguiendo los procedimientos del método 3111B del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater /18/. El pH se midió con un potenciómetro (marca Orion). La concentración de cromo trivalente se estimó mediante la diferencia de las concentraciones de cromo total y de cromo hexavalente.

• Resultados y discusión

Los perfiles cinéticos de remoción de cromo hexavalente y de cromo total por la corteza del árbol de Pirul se muestran en la figura 1. Se observa que las concentraciones de cromo hexavalente y de cromo total residual disminuyeron progresivamente a medida que se incrementó el tiempo de contacto, y que esta disminución fue más pronunciada en la primera hora.

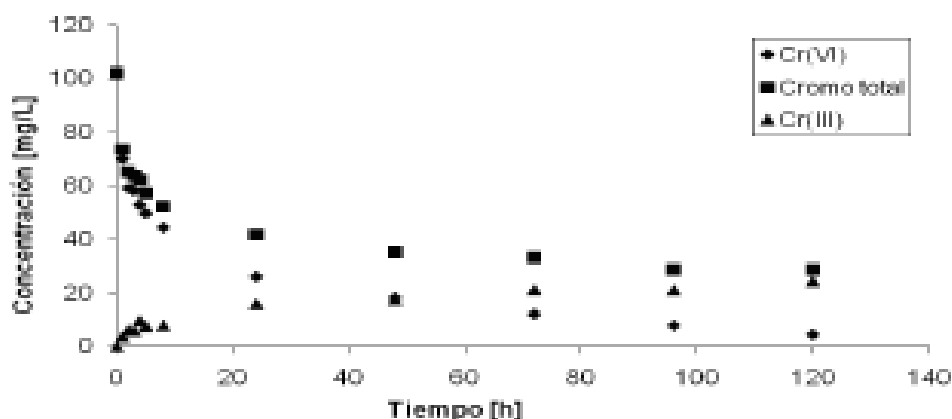


Fig. 1 Perfiles cinéticos de variación de la concentración de cromo hexavalente, cromo total y de cromo trivalente en los experimentos de remoción de cromo con la corteza del árbol de Pirul.

Sin embargo, la corteza del árbol de Pirul no fue capaz de remover todo el cromo inicialmente presente en la solución acuosa; al final del experimento (120 h), las concentraciones de cromo hexavalente y de cromo total residual fueron de 4,44 y 28,9 mg/L, respectivamente. A todos los tiempos de contacto ensayados, la concentración de cromo total residual fue superior a la de cromo hexavalente residual, lo que indica que la corteza del árbol de Pirul fue capaz de reducir parte del altamente tóxico y soluble Cr(VI) al menos tóxico e insoluble Cr(III). En la misma figura 1 se muestra que la concentración de cromo trivalente en solución se incrementó desde 0 hasta 24,38 mg/L, a medidas que el tiempo de contacto aumentó de 0 a 120 h.

Las concentraciones de cromo hexavalente y de cromo total en los controles libres de material biológico

permanecieron constantes durante todo el tiempo de experimentación, lo que indica que la remoción observada de Cr(VI) y de cromo total en los ensayos con la corteza del árbol de Pirul se debe únicamente al material biológico.

La corteza del árbol de Pirul fue capaz de remover parte del cromo total inicialmente adicionado a la solución acuosa, lo que sugiere que tiene la capacidad de biosorberlo.

En conjunto, los resultados anteriores indican que la corteza del árbol de Pirul es capaz de remover el Cr(VI) presente en solución acuosa mediante dos mecanismos: 1) transformación (reducción) del Cr(VI) a Cr(III), y 2) biosorción.

Las eficiencias de remoción de cromo hexavalente y de cromo total, obtenidas a los diferentes tiempos de contacto ensayados, se muestran en la figura 2.

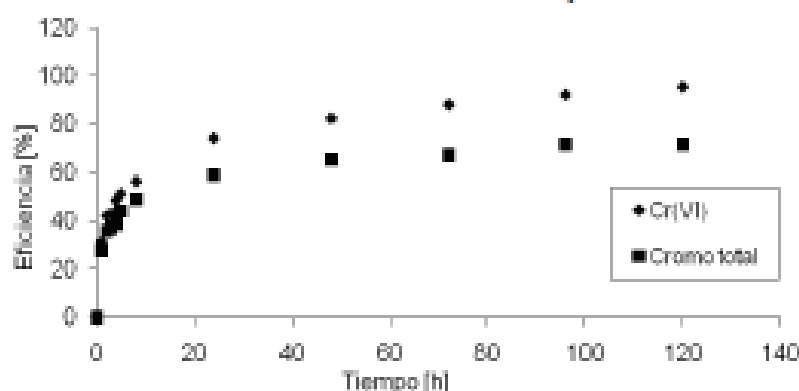


Fig. 2 Eficiencias de remoción de cromo hexavalente y de cromo total exhibidas por la corteza del árbol de Pirul.

Ambas eficiencias de remoción se incrementaron a medidas que aumentó el tiempo de experimentación, alcanzándose una eficiencia de remoción de cromo hexavalente de 95,65 % y de cromo total de 71,74 %, a las 120 h de contacto. A todos los tiempos ensayados, la eficiencia de remoción de cromo hexavalente fue superior a la de remoción de cromo total, y esta

diferencia se debe a la cantidad de cromo hexavalente que fue reducido a cromo trivalente por la corteza del árbol de Pirul.

En la figura 3 se muestran las capacidades de remoción de cromo hexavalente, de remoción de cromo total y de generación de cromo trivalente de la corteza del árbol de Pirul.

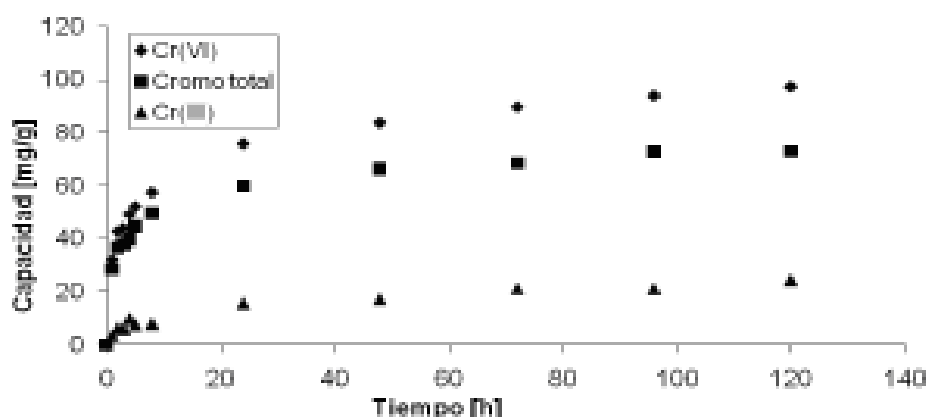


Fig.3 Capacidad de remoción de cromo hexavalente, de remoción de cromo total y de generación de cromo trivalente de la corteza del árbol de Pirul.

A todos los tiempos de contacto ensayados, la capacidad de remoción de cromo hexavalente fue superior a la de remoción de cromo total, y esta última a su vez fue superior a la capacidad de generación de cromo trivalente.

La corteza del árbol de Pirul exhibió una capacidad máxima de remoción de cromo hexavalente de 97,56 mg/g a las 120 h de contacto. Esta capacidad es superior a la reportada por Acar y Malkoc /19/ para el aserrín de *Fagus orientalis* L. (16,13 mg/g), así como a la informada por Sarin y Pant /20/ para la corteza activada de *Eucalyptus*, y por Ucum *et al.* /21/ para los experimentos realizados con una concentración inicial de Cr(VI) de 100 mg/L con el cono de *Pinus sylvestris* (89,37 mg/g). Sin embargo, los investigadores antes mencionados no determinaron la concentración de cromo total, por lo que se desconoce si la remoción de Cr(VI) por los materiales se debió a un proceso de reducción y/o de biosorción.

La capacidad de remoción de cromo total de la corteza del árbol de Pirul alcanzó un valor máximo de 73,18 mg/g a las 120 h de contacto. Esta capacidad es superior a las reportadas para la corteza de *Larix leptolepis* (10,28-19,09 mg/g)

/22/, para la corteza de yohimbe (42,5 mg/g) y para el corcho (17 mg/g) /23/.

La capacidad de generación de cromo trivalente de la corteza del árbol de Pirul se incrementó a medidas que aumentó el tiempo de contacto, alcanzándose una capacidad de generación de 24,38 mg/g a las 120 h de contacto (figura 3).

Los resultados mostraron que, aproximadamente el 75 % del cromo que fue removido por la corteza del árbol de Pirul, se biosorbió en el material biológico, y que el 25 % restante se removió por transformación del Cr(VI) a Cr(III). Estos datos indican que el mecanismo predominante en la remoción de Cr(VI) por la corteza es la biosorción. Sin embargo, se desconoce el estado de oxidación del cromo (trivalente o hexavalente) que se biosorbió en la corteza.

Se ha sugerido, que los fenómenos de reducción y biosorción de cromo por materiales biológicos pueden ser independientes o estar acoplados entre sí. Algunos investigadores han propuesto que el Cr(III) puede aparecer en solución mediante la reducción directa del Cr(VI) por los grupos donadores de electrones presentes en el material biológico, sin que exista un

paso previo de biosorción /24, 25/. Por otra parte, se considera que los materiales biológicos pueden poseer la capacidad de biosorber Cr(VI), así como de biosorber parte del Cr(III) que se generó durante el proceso de remoción de Cr(VI) /24, 26/.

Las velocidades volumétricas de remoción de cromo hexavalente y de cromo total, así como las de generación de cromo trivalente de la corteza del árbol de Pirul, se muestran en la figura 4.

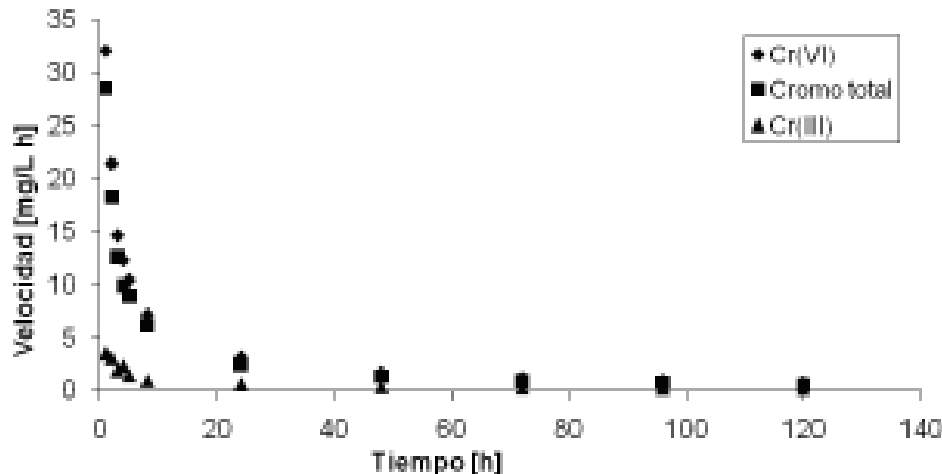


Fig. 4 Variación de la velocidad de remoción de cromo hexavalente, de remoción de cromo total y de generación de cromo trivalente de la corteza del árbol de Pirul.

Se observa que las tres velocidades disminuyeron a medida que aumentó el tiempo de contacto entre la corteza y la solución acuosa con Cr(VI). Durante las primeras 24 h, las velocidades de remoción de cromo hexavalente y de cromo total fueron superiores a las de generación de cromo trivalente; sin embargo, a tiempos posteriores, las velocidades fueron semejantes.

4) Las velocidades volumétricas de remoción de cromo hexavalente y de cromo total, así como la velocidad de generación de cromo trivalente, disminuyeron a medida que aumentó el tiempo de contacto.



Conclusiones

1) La corteza del árbol de Pirul es capaz de remover Cr(VI) de soluciones acuosas mediante dos mecanismos: reducción del Cr(VI) a Cr(III) y biosorción.

2) El principal mecanismo responsable de la remoción de cromo por la corteza del árbol de Pirul es la biosorción.

3) Las capacidades máximas de remoción de cromo hexavalente y de cromo total de la corteza del árbol de Pirul fueron de 97,56 y 73,18 mg/g, respectivamente, y estas fueron superiores a las reportadas para otros subproductos forestales.



Bibliografía

1. D. Mohan, C.U. Pittman. «Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from waters J. Hazard. Mater. 137:762-811 (2006).
2. Y.T. Wang. «Microbial reduction of chromates». En: D.R. Lovley (Ed.) Environmental microbe-metal interactions. ASM Press, Washington, DC, pp. 225-235 (2000).
3. M.A. Armienta-Hernández, R. Rodríguez-Castillo. «Environmental exposure to chromium compounds in the valley of León, México» Environ. Health Perspect. 103:47-51 (1995).
4. D.E. Kimbrough, Y. Cohen, A.M. Winer, L. Creelmas, et al. «Critical assessment of chromium in the environment» Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 29:1-46 (1999).
5. M.E. Loá, C. Amrhein, W.T. Frankenberger. «Environmental biochemistry of chromium» Rev. Environ. Contam. Toxicol. 136:91-121 (1994).
6. J.A. Jacobs, S.M. Testa. «Overview of chromium(VI) in the environment: Background and history». En: J. Guertin, J.A. Jacobs, C.P. Avakian (Eds.), Chromium(VI) Handbook. CRC Press, Boca Raton, Fla, pp. 1-21 (2005).

7. S.P. McGrath, S. Smith. «Chromium and nickels». En: B.J. Alloway (Ed.). *Heavy metals in soils*. Wiley, New York, pp. 125-150 (1990).
8. J. Guertin. «Toxicity and health effects of chromium (all oxidation states)». En: J. Guertin, J.A. Jacobs, C.P. Avakian (Eds.). *Chromium(VI) Handbook*. CRC Press, Boca Raton, Fla, pp. 215-234 (2005).
9. F.T. Stanin. «The transport and fate of chromium(VI) in the environments». En: J. Guertin, J.A. Jacobs, C.P. Avakian (Eds.). *Chromium(VI) Handbook*. CRC Press, Boca Raton, Fla, pp. 165-214 (2005).
10. P.B. Salunkhe, P.K. Dhakephalkar, K.M. Paknikar. «Bioremediation of hexavalent chromium in soil microcosms». *Biotechnol. Lett.* 20:749-751 (1998).
11. S. DeFlora, M. Bagasco, D. Serra, P. Zanacchi. «Genotoxicity of chromium compounds: a review». *Mutat. Res.* 238:99-172 (1990).
12. G. Lofroth, B.N. Ames. «Mutagenicity of inorganic compounds in *Salmonella typhimurium*: arsenic, chromium and selenium». *Mutat. Res.* 53:65-66 (1978).
13. E. Alvarez-Ayuso, A. García-Sánchez, X. Querol. «Adsorption of Cr(VI) from synthetic solutions and electroplating wastewaters on amorphous aluminum oxides». *J. Hazard. Mater.* 142:191-198 (2007).
14. T.A. Kurniawan, G.Y.S. Chan, W.H. Lo, S. Babel. «Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals». *Chem. Eng. J.* 118:83-98 (2006).
15. S.S. Ahluwalia, D. Goyal. «Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewaters». *Bioresour. Technol.* 98: 2243-2257 (2007).
16. J.L. Guardia-Torresley, G. de la Rosa, J.R. Peralta-Videa. «Use of phytofiltration technologies in the removal of heavy metals: A review». *Pure Appl. Chem.* 76:801-813 (2004).
17. Hach Company (Ed.). «Hach Water Analysis Handbooks». 5ª. ed. Loveland, CO. (2008).
18. L.S. Clesceri, A.E. Greenberg, A.D. Eaton (Eds.). «Standard methods for the examination of water and wastewaters» 20 th. ed. American Public Health Association. Washington, DC. (1998).
19. F.N. Acar, E. Malkoc. «The removal of Cr(VI) from aqueous solutions by *Fagus orientalis* L.» *Bioresour. Technol.* 94:13-15 (2004).
20. V. Sarin, K.K. Pant. «Removal of chromium from industrial waste by using eucalyptus barks». *Bioresour. Technol.* 97:15-20 (2006).
21. H. Uzun, Y.K. Bayhan, Y. Kaya, A. Cakici, et al. «Biosorption of chromium(VI) from aqueous solution by cone biomass of *Pinus sylvestris*». *Bioresour. Technol.* 85:155-158 (2002).
22. M. Aoyama. «Comment on Biosorption of chromium(VI) from aqueous solution by cone biomass of *Pinus sylvestris*». *Bioresour. Technol.* 89:317-318 (2003).
23. N. Fiol, I. Villacueva, M. Martínez, N. Miralles, et al. «Biosorption of Cr(VI) using low cost sorbents». *Environ. Chem. Lett.* 1:135-139 (2003).
24. D. Park, Y.S. Yun, J.M. Park. «Reduction of hexavalent chromium with the brown seaweed *Ecklonia* biomass». *Environ. Sci. Technol.* 38:4860-4864 (2004).
25. L.K. Cabatingan, R.C. Agapay, J.L.L. Rakela, M. Otero, et al. «Potential of biosorption for the recovery of chromate in industrial wastewaters». *Ind. Eng. Chem. Res.* 40:2302-2309 (2001).
26. D. Kratochvíl, P. Pimentel, B. Volesky. «Removal of trivalent and hexavalent chromium by seaweed biosorbents». *Environ. Sci. Technol.* 32:2693-2698 (1998).

Dr. Máximo Fidel Baca Neglia
 Docente Responsable – Código 1233

CRONOGRAMA DE CONTROL DE AVANCE

