



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS PECUARIAS**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO MECÁNICO PARA LA
RECUPERACIÓN DE CROMO UTILIZADO EN LA CURTICIÓN DE PIELES”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

**Previo a la obtención del título de
INGENIERAS EN INDUSTRIAS PECUARIAS**

**AUTORAS
ROCIO ELIZABETH SÁNCHEZ VALDIVIEZO
SANDRA EDITH ANDRADE CASIGNIA**

**RIOBAMBA - ECUADOR
2017**

Este trabajo de titulación fue aprobado por el siguiente tribunal

Ing. Cesar Iván Flores Mancheno.
PRESIDENTE DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Luis Eduardo Hidalgo Almeida. PhD
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

ING. MC. Edwin Dario Zurita Montenegro.
ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Riobamba, 9 de Noviembre del 2017.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros Sandra Edith Andrade Casignia con cedula de identidad 060413456-9 y Roció Elizabeth Sánchez Valdivieso con cedula de identidad 060460359-7, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Sandra Edith Andrade Casignia

CI: 060413456-9

Roció Elizabeth Sánchez Valdivieso

CI: 060460359-7

Riobamba, 9 de Noviembre del 2017.

DEDICATORIA

A Dios quien me ha dado vida y salud, para poder alcanzar mis metas, a mi amado hijo Mikel Guaraca por ser mi inspiración y fortaleza motivo por el cual me he esforzado día a día a mis padres Julio y Belén quienes confiaron en mi con mucho amor y cariño le dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis. A mis hermanas Germania y Narcisa a mis hermanos Ángel, Euro, Edwin quienes fueron un apoyo moral en mi trayectoria estudiantil.

Sandra Edith Andrade Casignia

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres Julio y Belén , quien a lo largo de mi vida ha velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a mi Director y Asesor de tesis que me ayudaron en todo momento

DEDICATORIA

A Dios quien me ha dado vida y salud, para poder alcanzar mis metas, a mi hija Keyla Ariana y a mi esposo Danny por ser mi inspiración y fortaleza, a mi papá Luis Sánchez G. con mucho amor y cariño le dedico todo mi esfuerzo y trabajo puesto para la realización de esta tesis. A mis hermanas Soraya y Jennifer, a mi sobrina Melany, a mis abuelitos Jorge y Ernestina a mis hermanos en el cielo Jorge y David que siempre vivirán en mi corazón.

Roció Elizabeth Sánchez Valdiviezo

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi padre Luis Sánchez G, quien a lo largo de mi vida ha velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a mi Director y Asesor de tesis que me ayudaron en todo momento

Roció Elizabeth Sánchez Valdiviezo

CONTENIDO

| | Pág. |
|---|------|
| Resumen | v |
| Agradecimiento | vi |
| Lista de Cuadros | vii |
| Lista de Gráficos | viii |
| Lista de Fotografías | ix |
| Lista de Anexos | x |
| | |
| I. <u>INTRODUCCIÓN</u> | 1 |
| II. <u>REVISIÓN DE LITERATURA</u> | 3 |
| A. EL CROMO | 3 |
| 1. <u>Historia</u> | 3 |
| 2. <u>Principales características</u> | 4 |
| 3. <u>Aplicaciones</u> | 4 |
| 4. <u>Abundancia y obtención</u> | 5 |
| 5. <u>Precauciones</u> | 6 |
| a. Compuestos | 7 |
| 6. <u>Beneficios del cromo</u> | 7 |
| 7. <u>Nutrición</u> | 9 |
| B. CURTICIÓN AL CROMO | 9 |
| 1. <u>Influencia de la basicidad</u> | 10 |
| 2. <u>Influencia del enmascaramiento</u> | 12 |
| a. Método normal de curtición | 15 |
| b. Curtición con piquel escaso | 15 |
| c. Curtición de alto agotamiento sin sal | 16 |
| d. Curtición para ante-lana | 17 |
| C. EFLUENTES DE LA CURTICIÓN CON CROMO | 17 |
| 1. <u>Impactos del cromo en la salud</u> | 18 |
| 2. <u>Impacto del cromo en los ecosistemas</u> | 20 |
| 3. <u>Tecnología para remoción de Cr con intercambio iónico</u> | 21 |
| 4. <u>Precipitación</u> | 22 |
| 5. <u>Materiales adsorbentes</u> | 22 |
| a. Biomateriales | 23 |
| b. Biotecnología | 24 |
| 6. <u>Electrocoagulación</u> | 25 |

| | | |
|------|---|----|
| 7. | <u>Membranas</u> | 24 |
| D. | SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN CURTIEMBRES | 25 |
| a. | Sistema de recolección de aguas | 25 |
| b. | Aireación | 26 |
| c. | Sistema de coagulación y floculación | 27 |
| d. | Sedimentación | 29 |
| III. | <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> | 31 |
| A. | LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO | 31 |
| B. | UNIDADES EXPERIMENTALES | 31 |
| C. | INSTALACIONES, EQUIPOS Y MATERIALES | 32 |
| D. | TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL | 33 |
| E. | MEDICIONES EXPERIMENTALES | 33 |
| F. | ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y PRUEBA DE SIGNIFICACIÓN | 34 |
| G. | PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL | 34 |
| 1. | <u>Determinación de los caudales a procesar</u> | 34 |
| 2. | <u>Diseño de la máquina</u> | 35 |
| H. | METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN | 36 |
| 1. | <u>Resistencias físicas del cuero</u> | 36 |
| 2. | <u>Porcentaje de elongación</u> | 37 |
| 3. | <u>Lastometría</u> | 38 |
| 4. | <u>Análisis sensorial</u> | 38 |
| IV. | <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> | 39 |
| A. | DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO | 39 |
| 1. | <u>Selección del diseño</u> | 39 |
| a. | Test de jarras | 39 |
| b. | Selección de los materiales | 43 |
| 2. | <u>Dimensionamiento del sistema de transporte de agua residual</u> | 45 |
| a. | Determinación del número de Reynolds | 45 |
| 3. | <u>Diseño de los mezcladores</u> | 51 |
| 4. | <u>Diseño del sedimentador</u> | 65 |
| a. | Zona de sedimentación | 68 |

| | | |
|------|--|----|
| B. | EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIAS FÍSICAS DEL CUERO CAPRINO CURTIDO EN FORMA CONVENCIONAL Y CON CROMO RECUPERADO EN EL PROTOTIPO MECÁNICO | 70 |
| 1. | <u>Resistencia a la tensión</u> | 70 |
| 2. | <u>Porcentaje de elongación</u> | 75 |
| 3. | <u>Lastometría</u> | 77 |
| C. | EVALUACIÓN DE LAS CALIFICACIONES SENSORIALES DEL CUERO OVINO CURTIDO CON CROMO TOTAL Y CON RECIRCULACIÓN DE CROMO | 79 |
| 1. | <u>Blandura</u> | 80 |
| 2. | <u>Llenura</u> | 83 |
| 3. | <u>Tamaño del grano</u> | 85 |
| D. | DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN PROTOTIPO MECANICO PARA LA RECUPERACION DE CROMO UTILIZADO EN LA CURTICION DE PIELES | 87 |
| 1. | <u>Características generales del taladro</u> | 88 |
| 2. | <u>Bomba</u> | 89 |
| E. | MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO MECÁNICO PARA LA RECUPERACIÓN DE CROMO UTILIZADO EN LA CURTICION DE PIELES | 90 |
| 1. | <u>Manual de instrucciones para la instalación y uso</u> | 90 |
| 2. | <u>Información de seguridad</u> | 91 |
| 3. | <u>En donde ubicar su prototipo mecánico de refrigeración</u> | 92 |
| 4. | <u>Como instalar el prototipo mecánico de recuperación de cromo</u> | 92 |
| 5. | <u>Precauciones</u> | 93 |
| 6. | <u>Funcionamiento</u> | 93 |
| 7. | <u>Recomendaciones</u> | 94 |
| 8. | <u>Limpieza y mantenimiento</u> | 94 |
| 9. | <u>Parte interna</u> | 95 |
| 10. | <u>Parte externa</u> | 95 |
| F. | PROYECCIÓN ECONÓMICA | 95 |
| VI. | <u>CONCLUSIONES</u> | 98 |
| VII. | <u>RECOMENDACIONES</u> | 99 |

VIII. LITERATURA CITADA
ANEXOS

100

RESUMEN

En el laboratorio de curtición de pieles de la FCP, de la ESPOCH, se evaluó el diseño e implementación de un prototipo mecánico para la recuperación de cromo, al ser una evaluación descriptiva no se requiere establecer unidades de carácter experimental. Los resultados indican que para la recuperación de sulfato de cromo del agua residual de los licores procedentes de los bombos de curtición, se reportó un rendimiento de 30,12 %, además se obtuvo, que por cada gramo de sulfato de cromo adicionado en la curtición de las pieles se recuperó 0,30 gr de sulfato de cromo, el cual sirvió para reutilizarlo en el proceso de curtición, en el análisis físico se registró que la resistencia a la tensión mayor fue conseguida en las pieles utilizando cromo recuperado (2014,10 y 2642,02 N/cm²), mientras que para el porcentaje de elongación (111,25 y 58,755 %) y la lastometría (11,03 y 10,78 mm), las medias del método convencional (T1) fueron superiores, pero al no existir diferencias significativas entre los valores numéricos se afirma que recuperar el cromo y reutilizarlo en el proceso de curtido es una tecnología viable para la obtención de pieles de elevada calidad. Para la construcción e implementación del prototipo mecánico se realizó una inversión de \$1935, que comparado con el precio en el mercado de máquinas para recuperar el cromo que está alrededor de \$5000 es notablemente inferior y lo hace una vía rentable para que el productor pueda invertir y generar ganancias.

ABSTRACT

In the leather tanning laboratory of the FCP, of the ESPOCH, the design and implementation of a mechanical prototype for the recovery of chromium was evaluated, since it is a descriptive evaluation it is not necessary to establish experimental units. The results indicate that for the recovery of chromium sulphate from the residual water of the liquors coming from the tanning drums, a yield of 30.12 % was reported, in addition it was obtained, that for each gram of chromium sulphate added in the tanning of the skins was recovered 0.30 gr of chromium sulfate, which served to reuse it in the tanning process, in the physical analysis it was recorded that the resistance to the greater tension was achieved in the skins using recovered chromium (2014,10 and 2642.02 N / cm²), while for the percentage of elongation (111.25 and 58.755 %) and the lastometry (11.03 and 10.78 mm), the means of the conventional method (T1) were higher, but in the absence of significant differences between the numerical values it is affirmed that recovering the chromium and reusing it in the tanning process is a viable technology for obtaining high quality leathers. For the construction and implementation of the mechanical prototype an investment of \$ 1935 was made, which compared to the market price of machines to recover the chromium that is around \$ 5000 is significantly lower and makes it a profitable way for the producer to invest and generate profits.

LISTA DE CUADROS

| Nº | | Pág. |
|----|--|------|
| 1. | VALOR DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA. | 31 |
| 2. | RESULTADOS REPORTADOS A LA PRUEBA DEL TEST DE JARRA PARA DETERMINAR EL AGENTE NEUTRALIZANTE UTILIZADO | 40 |
| 3. | MATRIZ DE PONDERACIÓN UTILIZADA PARA LA SELECCIÓN DE LA DISPOSICIÓN DEL EQUIPO | 42 |
| 4. | COEFICIENTES OBTENIDOS DE TABLAS PARA LA DISTINTOS ACCESORIOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE | 50 |
| 5. | EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIAS FÍSICAS DEL CUERO CAPRINO CURTIDO EN FORMA CONVENCIONAL Y CON CROMO RECUPERADO EN EL PROTOTIPO MECÁNICO | 72 |
| 6. | EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIAS FÍSICAS DEL CUERO CAPRINO CURTIDO EN FORMA CONVENCIONAL Y CON CROMO RECUPERADO EN EL PROTOTIPO MECÁNICO | 80 |
| 7. | COSTOS DEL PROTOTIPO MECÁNICO | 97 |

LISTA DE GRÁFICOS

| Nº | | Pág. |
|-----|--|------|
| 1. | Plano planteado del prototipo mecánico para la recuperación de cromo del agua residual obtenida en la curtición de pieles ovinas | 43 |
| 2. | Diagrama de flujo del proceso de recuperación del cromo | 44 |
| 3. | Tanque típico utilizado en la industria para la mezcla y agitación de sustancias químicas | 52 |
| 4. | Vectores de velocidad en el extremo de la pala de un rodete de turbina | 53 |
| 5. | Tiempos de mezcla en tanques agitados. Las líneas de trazos son para tanques sin placas deflectoras; la línea continua es para un tanque con placas deflectoras. | 57 |
| 6. | Diagrama de las reacciones químicas que ocurren en el proceso de mezclado | 62 |
| 7. | Evaluación de la resistencia a la tensión del cuero caprino curtido en forma convencional y con cromo recuperado en el prototipo mecánico | 73 |
| 8. | Evaluación del porcentaje de elongación del cuero caprino curtido en forma convencional y con cromo recuperado en el prototipo mecánica. | 76 |
| 9. | Evaluación de la lastimetría del cuero caprino curtido en forma convencional y con cromo recuperado en el prototipo mecánica. | 78 |
| 10. | Blandura del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo. | 81 |
| 11. | Llenura del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo. | 84 |
| 12. | Tamaño del grano del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo. | 86 |

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

| Nº | | Pág. |
|----|---|------|
| 1. | Prototipo mecánico de recuperación de cromo. | 97 |
| 2. | Taladro | 98 |
| 3. | Prototipo mecánico para la recuperacion de cromo utilizado en la curticion de pieles. | 100 |

LISTA DE ANEXOS

Nº

1. Resistencia a la tensión del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.
2. Porcentaje de elongación del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.
3. Lastimetría del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.
4. Blandura del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.
5. Llenura del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.
6. Tamaño de grano del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.
7. Evidencia fotográfico de trabajo experimental Diseño e implementación de un prototipo mecánico para la recuperación de Cromo utilizado en la curtiduría de pieles.

I. INTRODUCCIÓN

La actividad de la curtición de las pieles es una actividad muy importante para el desarrollo económico del país, pero a su vez tiene consecuencias ambientales que afectan a las zonas aledañas de las industrias y esto es debido a la gran cantidad de agentes químicos que se utilizan en cada proceso que al mezclarse con el agua y ser eliminadas en las efluentes que van a ríos o a canales de riego con lo cual tiene un índice de contaminación elevado, el agente químico más peligroso en la curtiembre es el cromo que al eliminarse en el agua forma un complejo muy estable que es difícil de eliminar. Estudios de impacto ambiental han determinado que el ion cromo trivalente tiene alta toxicidad para las plantas, animales y seres vivos ya que puede causar graves enfermedades si se consume el agua con este agente contaminante siendo importante tratar de eliminarlo del agua residual de manera urgente, para lo cual se pueden emplear tratamientos físicos, químicos o biológicos y de acuerdo a su rendimiento y concentración de cromo en el agua después de estos tratamientos se determinara el grado de recuperación de cromo.

El efluente del proceso de curtido de pieles contiene la mayor parte del cromo trivalente presente en las aguas residuales de la industria de curtido de pieles. Para contribuir a la solución de la problemática relacionada con la descarga de grandes cantidades de cromo al ambiente por parte de las empresas curtidoras, se realizó el presente estudio que incluye pruebas en laboratorio y en planta piloto. La industria de curtido de pieles tiene altos índices de consumo de agua y respectivamente genera grandes cantidades de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, sólidos, salinidad, grasas y presencia de contaminantes específicos, tales como cromo, sulfuros y amoníaco. La cantidad y las características de las aguas residuales dependen sobre todo de la combinación de operaciones y procesos que utiliza cada una de las categorías de este sector industrial, así como del tipo y los métodos de conservación de las pieles, y de las sustancias químicas utilizadas en las diferentes fases del procesamiento. Influye también el orden en que se llevan a cabo las operaciones y en general el control del proceso de producción

En la provincia de Chimborazo no se cuenta con fábricas que permitan recuperar el cromo aprovechable de los efluentes, lo que implica mayores gastos de producción, se solucionó este inconveniente con la implementación de un prototipo mecánico para recuperar el cromo que será utilizado en el proceso de curtición y que ayuden a reducir la inversión en las sales de cromo, además de implementarla se hizo la adecuación de manuales de procedimiento para evitar cualquier inconveniente a los usuarios del prototipo mecánico. Los residuos de cromo del procesamiento del cuero plantean un problema de disposición considerable. Esto se da de tres formas: residuos líquidos, residuos sólidos y lodos. En la mayoría de los países, las regulaciones que gobiernan la descarga de cromo de las curtiembres son estrictas. Actualmente, todas las curtiembres deben chequear profundamente sus corrientes de desperdicios. La descarga de cromo en estas corrientes es uno de los componentes que tiene que ser estrictamente controlado. El impacto ambiental de los residuos de cromo de las curtiembres ha sido un tema de amplia disputa técnica y científica, por lo cual los objetivos planteados para la presente investigación fueron:

- Implementar una máquina para recuperar el cromo de los efluentes del proceso de curtición incluyendo los baños de lavado y los líquidos de escurrido y su reciclado en el proceso de producción.
- Determinar la eficiencia de la máquina recuperadora de cromo a través de mediciones de la cantidad de cromo rescatado.
- Crear los manuales de manejo y procedimiento adecuado utilizando normas de seguridad industrial para evitar riesgos en el funcionamiento y manejo de la máquina.
- Evaluar los costos de construcción, instalación y funcionamiento del prototipo mecánico para recuperar cromo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

A. EL CROMO

Bustos C. (2010), menciona que cromo, de símbolo Cr, es un elemento metálico de color gris, que puede presentar un intenso brillo. Se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos, es uno de los elementos de transición del sistema periódico y su número atómico es 24. Es un metal de gran dureza y muy resistente a la corrosión, muy utilizado en la metalurgia. En el proceso de curtido de cuero se emplean fundamentalmente dos métodos: uno en base de sales de cromo y otro a base de agentes vegetales. El 80 % de las industrias dedicadas a la actividad del curtido de pieles utiliza el proceso basado en las sales de cromo.

1. Historia

Bustos C. (2010), menciona que en 1761 Johann Gottlob Lehmann encontró en los Urales un mineral naranja rojizo que denominó plomo rojo de Siberia; este mineral se trataba de la crocoíta (PbCrO_4), y se creyó que era un compuesto de plomo con selenio y hierro. En 1770 Peter Simon Pallas estuvo en el mismo lugar que Lehmann y encontró el mineral, que resultó ser muy útil en pinturas debido a sus propiedades como pigmento. Esta aplicación se extendió con rapidez, por ejemplo, se puso de moda un amarillo brillante, obtenido a partir de la crocoíta. En 1797 Nicolas-Louis Vauquelin recibió muestras del mineral. Fue capaz de producir óxido de cromo (CrO_3) mezclando crocoíta con ácido clorhídrico (HCl). Hay que dejar bien claro que, aunque existen varios estado de valencia.

Buljan, J. (2000), señala que en 1798 descubrió que se podía aislar cromo metálico calentando el óxido en un horno de carbón. También pudo detectar trazas de cromo en gemas preciosas, como por ejemplo, en rubíes y esmeraldas. Lo llamó cromo (del griego chroma, "color") debido a los distintos colores que presentan sus compuestos. El cromo se empleó principalmente en pinturas y otras aplicaciones hasta que, a finales del siglo XIX, se empleó como aditivo en aceros.

Campbell, D. (2006), señala que este uso no se extendió hasta principios del siglo XX, cuando se comenzó a obtener cromo metálico mediante aluminotermia. Actualmente en torno a un 85 % del cromo se utiliza en aleaciones metálicas. Según un estudio arqueológico sobre las armas que usó el ejército de Qin, datadas hacia los años 210 a. C., se descubrió que estaban recubiertas de cromo. Aunque probablemente se trate de una simple contaminación con minerales naturales de cromo tras estar enterrados tantos siglos, algunos investigadores piensan que los chinos desarrollaron las tecnologías suficientes como para producir un baño de cromo sobre algunos metales.

2. Principales características

Campbell, D. (2006), señala que el cromo es un metal de transición duro, frágil, gris acerado y brillante. Es muy resistente frente a la corrosión. Su estado de oxidación más alto es el +6, aunque estos compuestos son muy oxidantes. Los estados de oxidación +4 y +5 son poco frecuentes, mientras que los estados más estables son +2 y +3. También es posible obtener compuestos en los que el cromo presente estados de oxidación más bajos, pero son bastante raros.

3. Aplicaciones

Castells, X. (2000), indica que el cromo se utiliza principalmente en metalurgia para aportar resistencia a la corrosión y un acabado brillante. En aleaciones, por ejemplo, el acero inoxidable es aquel que contiene más de un 12 % en cromo, aunque las propiedades antioxidantes del cromo empiezan a notarse a partir del 5 % de concentración. Además tiene un efecto alfégeno, es decir, abre el campo de la ferrita y lo fija. Los diversos compuestos de cromo (Cr) representan una gran amenaza al ambiente y al hombre debido a sus efectos nocivos. Las intoxicaciones se manifiestan en lesiones renales, gastrointestinales, del hígado, del riñón, de la glándula tiroides y la médula ósea, y la velocidad corporal de eliminación es muy lenta. Las industrias de curtiduría de pieles utilizan sales de Cr en sus procesos, que generan cantidades de efluentes líquidos con alto contenido de este metal, el

cual, debe ser removido a fin de cumplir con la legislación ambiental. Sus aplicaciones son en procesos de cromado (depositar una capa protectora mediante electrodeposición). También se utiliza en el anodizado del aluminio. En pinturas cromadas como tratamiento antioxidante. Sus cromatos y óxidos se emplean en colorantes y pinturas. En general, sus sales se emplean, debido a sus variados colores, como mordientes. El dicromato de potasio es un reactivo químico que se emplea en la limpieza de material de vidrio de laboratorio y, en análisis volumétricos, como agente valorante. Es común el uso del cromo y de alguno de sus óxidos como catalizadores, por ejemplo, en la síntesis de amoníaco. El mineral cromita se emplea en moldes para la fabricación de ladrillos. Con todo, una buena parte de la cromita consumida se emplea para obtener cromo o en aleaciones. Son todos coloreados, como indica el nombre del metal. Las reacciones principales del cromo son:

- $2\text{Cr (s)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3\text{ (s)}$
- $2\text{Cr (s)} + 3\text{X}_2\text{ (g)} \rightarrow 2\text{CrX}_3\text{ (s)}$ X puede ser F, Cl, Br. Con I forma CrI_2
- $8\text{Cr(s)} + 3\text{S (s)} \rightarrow 8\text{CrS (s)}$
- $2\text{Cr(s)} + \text{N}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{CrN (s)}$
- $3\text{Cr (s)} + 2\text{C (s)} \rightarrow \text{Cr}_3\text{C}_2\text{ (s)}$

4. Abundancia y obtención

El Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles, (2003), indica que se obtiene cromo a partir de la cromita (FeCr_2O_4). El cromo se obtiene comercialmente calentando la cromita en presencia de aluminio o silicio (mediante un proceso de reducción). Aproximadamente la mitad de la cromita se extrae de Sudáfrica. También se obtiene en grandes cantidades en Kazajistán, India y Turquía. Los depósitos aún sin explotar son abundantes, pero están geográficamente concentrados en Kazajistán y el sur de África. Aproximadamente se produjeron en 2000 quince millones de toneladas de cromita, de la cual la mayor parte se emplea para aleaciones inoxidables (cerca de un 70 %), por ejemplo para obtener ferrocromo (una aleación de cromo y hierro, con algo de carbono, los aceros

inoxidables dependen del cromo, y su óxido protector). Otra parte (un 15 % aproximadamente), se emplea directamente como material refractario y, el resto, en la industria química para obtener diferentes compuestos de cromo. Se han descubierto depósitos de cromo metal, aunque son poco abundantes; en una mina rusa se producen muestras del metal, en donde el ambiente reductor ha facilitado la producción de diamantes y cromo elemental. Se han caracterizado 19 radioisótopos, siendo el más estable el cromo-50 con un periodo de semidesintegración de más de $1,8 \times 10^{17}$ años, seguido del cromo-51 con uno de 27,7025 días. Este elemento también tiene dos metaestados.

Hidalgo L. (2004), manifiesta que el cromo -53 es el producto de decaimiento del manganeso-53. Los contenidos isotópicos en cromo están relacionados con los de manganeso, lo que se emplea en geología. Las relaciones isotópicas de Mn-Cr refuerzan la evidencia de aluminio-26 y paladio-107 en los comienzos del Sistema Solar. Las variaciones en las relaciones de cromo-53/cromo-52 y Mn/Cr en algunos meteoritos indican una relación inicial de $^{53}\text{Mn}/^{55}\text{Mn}$ que sugiere que las relaciones isotópicas de Mn-Cr resultan del decaimiento in situ de ^{53}Mn en cuerpos planetarios diferenciados. Por lo tanto, el ^{53}Cr da una evidencia adicional de procesos nucleosintéticos justo antes de la coalescencia del Sistema Solar. El peso atómico de los isótopos del cromo va desde 43 uma (cromo-43) a 67 uma (cromo-67). El primer modo de decaimiento antes del isótopo estable más abundante, el cromo-52, es la captura electrónica, mientras que después de éste, es la desintegración beta.

5. Precauciones

Centro Nacional de Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales. (2009), dicta que generalmente, no se considera que el cromo metal y los compuestos de cromo (III) sean especialmente, un riesgo para la salud; se trata de un elemento esencial para el ser humano, pero en altas concentraciones resulta tóxico. Los compuestos de cromo (VI) son tóxicos si son ingeridos, siendo la dosis letal de unos pocos gramos. En niveles no letales, el Cr (VI) es carcinógeno. La mayoría de los compuestos de cromo (VI) irritan los ojos, la piel y las mucosas. La exposición

crónica a compuestos de cromo (VI) puede provocar daños permanentes en los ojos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda desde 1958 una concentración máxima de 0.05 mg/litro de cromo (VI) en el agua de consumo. Este valor ha sido revisado haciendo nuevos estudios sobre sus efectos en la salud, pero ha permanecido constante.

a. Compuestos

Leonard, N. (2008), explica que el dicromato de potasio, $K_2Cr_2O_7$, es un oxidante energético y se utiliza para limpiar material de vidrio de laboratorio de cualquier resto orgánico que pueda contener. El "verde de cromo" (es el óxido de cromo (III), Cr_2O_3) es un pigmento que se emplea, por ejemplo, en pinturas esmaltadas y en la coloración de vidrios. El "amarillo de cromo" (es un cromato de plomo, $PbCrO_4$) también se utiliza como pigmento. No se encuentran en la naturaleza ni el ácido crómico ni el dicrómico, pero sus aniones se encuentran en una amplia variedad de compuestos. El trióxido de cromo, CrO_3 , el que sería el anhídrido del ácido crómico, se vende industrialmente como "ácido crómico". Empleado como uno de los componentes del proceso de los baños de cromado.

6. Beneficios del cromo

Leonard, N. (2008), explica que el cromo pertenece al grupo de los oligoelementos, el cromo al igual que el silicio, el níquel, el litio, el molibdeno y el selenio; es indispensable para el organismo ya que regula el metabolismo del azúcar (glucosa) además de ayudar a la insulina a distribuir la glucosa a las células. Por eso es indispensable en el tratamiento de las hipoglucemias. Al estar en relación el cromo con la insulina, a menudo se emplea para controlar el azúcar en sangre debido a que las personas con Diabetes del tipo II absorben mejor la glucosa en las células.

Leonard, N. (2008), explica que el cromo, especialista en impedir la formación de coágulos en la sangre; es también una pieza clave para prevenir los ataques al corazón. Se ha comprobado que las personas que fallecen de enfermedades

cardíacas, tienen menos cantidad de cromo en el organismo que la mayoría. Asimismo es un mineral importante para mantener el correcto desarrollo de nuestra dentadura. Regula los niveles de colesterol y triglicéridos.

Romero J, (2002), señala que el óxido, de cromo (III) Cr_2O_3 , es un pigmento que se emplea, por ejemplo, en pinturas esmaltadas y en la coloración de vidrios. El "amarillo de cromo" (es un cromato de plomo, PbCrO_4) también se utiliza como pigmento¹. Muchas sales crómicas, como el nitrato, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ y el perclorato, $\text{Cr}(\text{ClO}_4)_3$, se disuelven en agua dando soluciones violetas, color se debe al catión crómico hidratado, $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. Las soluciones de sales crómicas pueden conservarse al aire por tiempo indefinido sin que se oxiden ni reduzcan. Son ligeramente ácidas porque el catión crómico se hidroliza. En el curtido del cuero es frecuente emplear el denominado "curtido al cromo" en el que se emplea hidroxisulfato de cromo (III) ($\text{Cr}(\text{OH})(\text{SO}_4)$). Para preservar la madera se suelen utilizar sustancias químicas que se fijan a la madera protegiéndola. Entre estas sustancias se emplea óxido de cromo (VI) (CrO_3). Cuando en el corindón (Al_2O_3) se sustituyen algunos iones de aluminio por iones de cromo se obtiene el rubí; esta gema se puede emplear, por ejemplo, en láseres.

La Unidad de Medio Ambiente. (2001), enseña que el dióxido de cromo (dando mejores resultados que con óxido de hierro debido a que presentan una mayor coercitividad. Cuando las disoluciones del anión, dicromato, son muy ácidas, especialmente en presencia del ácido sulfúrico concentrado, se forma el CrO_3 que es un sólido de color rojo intenso, fuerte oxidante, muy utilizado en la obtención de compuestos orgánicos. Las disoluciones de este óxido en ácido sulfúrico concentrado, se usan como soluciones lavadoras para los utensilios de vidrio de los laboratorios ya que oxidan las grasas. No se encuentran en la naturaleza ni el ácido crómico ni el dicrómico, pero sus aniones se encuentran en una amplia variedad de compuestos. El uso del Cr como agente se debe a la calidad del cuero que se genera; las sales generan un curtido más uniforme y rápido, y se obtiene, además, una mayor superficie. En contraste con las sales de aluminio, estas hacen que el cuero se "hinche" y en ebullición se convierta en un material de consistencia gelatinosa.

7. Nutrición

Unidad de Medio Ambiente. (2001), enseña que este micromineral aparece en el cuerpo en cantidades muy pequeñas. Participa en el metabolismo del azúcar por tanto para la utilización normal de la glucosa y para el crecimiento. Su actividad se lleva a cabo conjuntamente con otras sustancias que controlan el metabolismo de la insulina y de varias enzimas, con la formación de ácidos grasos, colesterol y con el material genético de las células. Su carencia produce menor tolerancia a la glucosa bucal, neuropatía periférica, balance negativo de nitrógeno, menor cociente respiratorio y adelgazamiento. A su vez puede ocasionar diabetes en edades adultas, enfermedades coronarias y retardos de crecimiento. Las razones para la ausencia de este micromineral se basan en desnutrición calórico-protéica, aterosclerosis y estrés. Es muy raro que aparezcan excesos de cromo debido a que su presencia en alimentos es muy reducida. Adicionalmente la única razón que justifica su ingestión, como suplemento, es una indicación médica.

B. CURTICIÓN AL CROMO

Ludvick, J. (2010), señala que la finalidad de la curtición es estabilizar la proteína frente a la descomposición bacteriana y a los agentes externos, mediante la reacción de productos poli funcionales de peso molecular medio. Se utilizan productos polifuncionales por su capacidad de reaccionar con más de una molécula de colágeno. El objetivo secundario de la curtición al cromo es conferir una serie de propiedades a la piel como son: plenitud, tacto, elasticidad, finura de flor, etc.

Ludvick, J. (2010), señala que los productos que se utilizan para la curtición son básicamente dos, el aluminio y el cromo, aunque hay otros que también tienen la facultad de curtir. Se utilizan mayoritariamente estos dos porque son más baratos, más fáciles de utilizar y pueden llegar a formar enlaces estables con los grupos -COOH de las fibras del cuero. El aluminio es muy utilizado en peletería porque permite el decolorado. No da color, y no interacciona con H₂O₂ del decolorado.

Gansser, A. (2007), dice que la curtición al cromo sirve como tratamiento único o en combinación con otros productos curtientes para fabricar mucha variedad de artículos. Con la curtición se aumenta la temperatura de contracción de la piel, para que aguante las sucesivas operaciones de tintura y engrase, que generalmente se deben hacer a altas temperaturas. El cuero curtido al cromo húmedo resiste bien temperaturas de 100°C, y una vez seco aguanta la temperatura de vulcanizado (para la fabricación de zapatos) que es de unos 120°C. La piel curtida al cromo seca posee en su interior un gran número de espacios vacíos en forma de canales microscópicos localizados entre las fibras curtidas. Estos poros permiten que los cuerpos gaseosos tales como el aire y el vapor de agua puedan pasar a su través con relativa facilidad, es lo que se denomina permeabilidad a los gases y al vapor de agua.

Garcia, V. (2008), expone que los factores que regulan la curtición al cromo son:

- Las características de la piel piquelada.
- La concentración y la basicidad.
- El tamaño de los complejos del cromo.
- La adición de sales neutras.
- La temperatura.
- Los enmascarantes.
- Envejecimiento de la sal de cromo.
- Tiempo de duración de la curtición.

1. Influencia de la basicidad

Garcia, V. (2008), expone que El sulfato de cromo normal $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ es desde el punto de vista químico de una basicidad cero. No tiene apenas poder curtiente y es soluble en agua. El sulfato básico de cromo $\text{SO}_4\text{Cr}(\text{OH})$ (del 33 % de basicidad) tiene afinidad por la fibra y sigue siendo soluble en agua. El hidróxido de cromo $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (del 100 % de basicidad) tiene bastante afinidad por la fibra y no es soluble en agua. Las basicidades usadas en la curtición al cromo van desde 0 hasta 60 %. Para

calcular la basicidad a la que queda una sal de cromo al adicionarle una base o una sal de hidrólisis básica, es necesario saber el porcentaje de óxido de cromo (Cr_2O_3) de la sal de cromo usada, la fórmula del producto basificante y la basicidad de la sal de cromo antes de la adición del basificante. Pondremos un ejemplo: Tenemos una sal de cromo del 33 % de basicidad, que contiene un 25 % de Cr_2O_3 y queremos pasarla al 53 %, es decir que queremos aumentar su basicidad en un 20 %.

Graves, R. (2007), dice que la cantidad de Na_2CO_3 necesaria para aumentar en 1% la basicidad de 1 Kg. de sal de cromo del 25 % de Cr_2O_3 será de aproximadamente 5 g. Cuanto más básica es una sal de cromo (entre 0 y 55 %), más afinidad tiene la: el hacia el cromo, debido a que el polímero formado por varias moléculas de sal de cromo va aumentando de tamaño (los grupos OH^- van uniendo las moléculas de cromo entre sí), y por ello la penetración entre las fibras de la piel será menor o más difícil. Entonces se puede producir una curtición superficial. La piel estará más rellena entre fibras, y por consiguiente las fibras estarán más separadas entre sí, con lo cual tendremos una piel más blanda y más gruesa, pero con menos pietaje. En general se puede decir que, a más basicidad más curtición, y por lo tanto las temperatura de contracción. La basicidad del baño y de la piel conviene que aumente progresivamente, para ello se utilizarán licores de distinta basicidad 33-42-50, autobasificantes, se hará una basificación lenta, se pueden adicionar sales con enmascaramiento débil con bacificación rápida inicial, se realizará un alargamiento progresivo del baño, etc.

Grozza, G. (2007), localiza que un aumento de la basicidad efectiva muy al principio de la curtición sólo será interesante para artículos especiales como el ante. Cuanto más básica es una curtición, menos afinidad tiene la piel hacia los recurtientes, colorantes, grasas, ya que el cromo y la piel están más unidos y el cromo ha perdido reactividad, sobre todo a basicidades finales muy altas (50-55 %). Pero a su vez, al contener más cromo la piel, cantidades más altas de recurtientes, colorantes y grasa se podrán combinar De esta forma, en algunos casos los dos efectos contrarios se pueden anular, y en otros casos uno de los dos efectos predomina sobre el otro.

Grunfeld, A. (2008), indica que los principales agentes de basificación de las sales de cromo son el bicarbonato y el carbonato sódicos, también se pueden utilizar el formiato y acetato sódicos, el aumento de pH se ha de realizar de forma lenta y uniforme sin saltos bruscos. Por ello los álcalis se adicionan disueltos y en varias tomas a fin de obtener una fijación del cromo homogénea en todo el espesor de la piel. En la actualidad, se utilizan compuestos poco solubles del tipo óxido de magnesio, carbonato cálcico, en cuyo caso tiene importancia el tamaño de la partícula, ya que cuanto más fina sea ésta más rápidamente reaccionan. El calcio forma con los sulfatos de la curtición sales poco solubles que pueden precipitar sobre el cuero y traer problemas en las operaciones posteriores.

2. Influencia del enmascaramiento

Bacardit, A. (2005), manifiesta que el enmascaramiento de las sales de cromo sirve para hacerlas más suaves y poder obtener unas pieles con flor más fina, más llenas y más suaves. Enmascarando la curtición al cromo se obtiene un cuero menos catiónico, es decir que tiene menor capacidad de reaccionar con los compuestos aniónicos. Los colorantes ácidos y directos, taninos vegetales y aceites sulfonados, penetran mejor con sales enmascaradas. Utilizando las mismas cantidades de productos sobre un cuero curtido con sales de cromo enmascaradas se obtienen matices de tintura más pálidos y más igualados, y cueros acabados más llenos y suaves debido a la mejor distribución del cromo y a a mejor penetración de las grasas.

Vargas, R. (2005), manifiesta que, el cromo no sólo se combina con el colágeno por las valencias iónicas positivas sino que tiene seis posibles enlaces covalentes por cada átomo de cromo. Los enmascarantes se unen al cromo principalmente por estos enlaces, bloqueando totalmente o en parte, según la cantidad y tipo de enmascarante, la posibilidad de unión del cromo con la fibrilla de colágeno. Las sales de cromo enmascaradas reaccionan menos con la piel que sin enmascarar. Por otro lado, en general, una molécula de enmascarante se une a dos o más átomos de cromo produciéndose agregados grandes de átomos de cromo y

enmascarante, por lo tanto se obtiene más producto curtiente que sin enmascarar. El enmascaramiento de la sal de cromo puede ser debido a:

- El tipo de ácido utilizado en el piquel (HCOOH).
- La utilización de una sal de cromo enmascarada (licores reducidos con glucosa, melaza, etc.).
- La utilización de un enmascarante al basificar (formiatos, acetatos, adipatos, etc.).
- La utilización de neutralizantes enmascarantes en la neutralización (formiatos, acetatos, etc.).

Huamaní, G. (2011), indica que cuanto más enmascarada sea la sal de cromo en la curtición, mayor será la facilidad de penetración y menor el peligro de sobrecurtición, más fina será la flor, será menor el contenido en cromo de la piel, y menor la reactividad hacia los sintéticos, colorantes y grasas. La plenitud de la piel puede ser mayor debido a que el enmascarante produce grandes agregados de átomos de cromo, pero al contrario también puede ser menor ya que la afinidad disminuye y reacciona poca cantidad de cromo. De esta forma se pueden compensar los dos efectos. En general no se debe abusar del enmascarante, se usa sólo como máximo un tercio del necesario para bloquear las seis covalencias del átomo de cromo. Es decir, se utiliza un enmascarante con dos posibilidades de covalencia con el cromo. El tacto depende del tipo de enmascarante que se utiliza. El formiato, adipato y ftalato dan un tacto blando. El acetato, lactato y oxalato dan un tacto duro. En muchas ocasiones es mejor utilizar una mezcla de varios enmascarantes en poca cantidad, que utilizar pocos enmascarantes en una cantidad mayor. Los sulfatos sólo actúan como enmascarantes en concentraciones elevadas. Los cloruros no se pueden considerar como enmascarantes.

Morera, J. (2002), reporta que el ion OH^- se puede considerar el mejor enmascarante. Su adición masiva produce la precipitación. Cuanto más enmascarante hay, más OH^- se debe añadir para desplazarlo provocando la fijación del cromo sobre la piel o la precipitación de la sal de cromo en el baño. Los licores de cromo con glucosa cuyo contenido en óxido de cromo es de un 10-11 %

contienen una mayor proporción de complejos no iónicos y amónicos que las soluciones reducidas con anhídrido sulfuroso. La proporción de átomos de cromo y grupos sulfato es la misma a cualquier concentración, pero a elevadas concentraciones la ley de acción de masas provoca la penetración de los grupos sulfato u otros hacia el interior del complejo de cromo dándoles un carácter más electronegativo. Por simple dilución se puede establecer un nuevo equilibrio formándose una mayor proporción de complejos catiónicos.

Hidalgo, L. (2004), manifiesta que los licores de cromo reducidos con anhídrido sulfuroso poseen solo el enmascaramiento por los grupos sulfato, el cual es reversible. Una sal de cromo medianamente enmascarada se obtiene reduciendo el dicromato con glucosa. Un licor de cromo de 33 % de basicidad se puede obtener mediante: 100 Kg. $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ +100 Kg. H_2SO_4 +25-30 Kg glucosa+100-200 L. agua. Para cada Kg de H_2SO_4 que se añade o se quita de los 100 Kg utilizados se baja o se sube 1% la basicidad.

Rivero, M. y Muñoz, V. (2012), indican que se pueden obtener distintos enmascaramientos según el orden de adición de los productos. Lo más corriente y seguro es añadir lentamente la glucosa a la final, disuelta. Las disoluciones preparadas a partir del alumbre de cromo con basificación mediante carbonato sódico son muy poco enmascaradas. Las sales de cromo sólidas reducidas con SO_2 tienen un enmascaramiento débil con SO_4^- que al cabo de un tiempo de disolución desaparece totalmente, y más rápidamente cuanto mayor es la temperatura. De esta forma, existe la posibilidad de usar sales de cromo sin disolver con basificaciones rápidas, curticiones en seco, etc. Las sales de cromo preparadas por reducción con materias orgánicas (glucosa, melazas, etc.) tienen el enmascaramiento con SO_4^- además del producido por los productos orgánicos, producidos por la descomposición de los reductores utilizados. El color del cuero curtido al cromo depende de la basicidad y enmascaramiento. En general, a más basicidad se obtiene un color más verde. Según el enmascaramiento es más o menos verde o verde azulado, e incluso puede llegar a ser violáceo. Si la curtición no es enmascarada ni básica, el cuero es verde azulado.

a. Método normal de curtición

Chávez, A. (2010), manifiesta que para un proceso normal de curtición partimos de pieles desencaladas, rendidas y lavadas con un pH=7,5. Enteros divididos o sin dividir.

El peso se calcula sobre el porcentaje del peso en tripa.

Piquel:

- 60 % Agua
- 8 % Sal
- Rodar 15' ->6°Bé
- 0,3 % H₂SO₄ (1:10) 3*15'
- Rodar 30'
- 1,5 % HCOOH (1:5)
- Rodar 1 – 4 horas hasta penetración pH=3,5

Curtición:

- 8 % Sal de cromo del 33 % de basicidad
- Rodar 2 horas.
- 1 % Enmascarante
- Rodar 1 hora.
- 1,2 % Na₂CO₃ (1:5) Añadido en 4 veces de 30 minutos.
- Rodar 4 horas - 6 horas. Noche en reposo. pH =3,7-3,8 TC=100°C.

b. Curtición con piquel escaso

Silva, T. (2016), menciona que para realizar la curtición con piquel escaso partimos de pieles divididas o delgadas (napa, cabría).

- 40 % Agua
- 5 % Sal

- Rodar 15'. hasta 5°Bé.
- 0,3 % HCOOH
- Rodar 15'. pH=3,8-4 exterior, 5,5-6 interior.
- 6 % Sal de cromo del 33% de basicidad.
- Rodar 8 horas.
- pH = 3,8 TC = 95-100°.

c. Curtición de alto agotamiento sin sal

Hidalgo, L. (2004), indica que para realizar la curtición de alto agotamiento sin sal se realiza el siguiente procedimiento:

- 20 % Agua
- 2 % Sal
- Rodar 15' PH = 2-2,5 exterior, 5-5,5 interior
- 5 % sal de cromo autobasificante (60% basicidad)
- Rodar 8 horas
- pH = 3,8 - 4,0 TC =1000

Piquel

- 80 % Agua
- 10 % Sal
- Rodar 15' 60 Be
- 2 % Acido Glicolico o Fórmico
- Rodar 2 horas pH= 3.8 -4.0

Curtición

- 4 % Sal de cromo del 33 % de basicidad
- Rodar 2 Horas
- 1 % Formiato de sodio

- Rodar 2 horas
- 0,8% carbonato de sodio Na_2CO_3 3*15'
- Rodar 4 horas
- pH = 4, a – 4,2

d. Curtición para ante-lana

Menendez, P. (2016), indica que el volumen de baño debe ser de 1:10 sobre el peso de las pieles

- 1000 % Agua
- 60 g/l Sal
- Rodar 10'. 6°Be
- 3cc/L Acido formico o glicolico
- Rodar 2-3 horas. pH = 3,5
- 20 g/L Sal de cromo del 33 % de basicidad
- Rodar 2 horas.
- Noche en reposo.
- 2 g/L Formiato de sodio
- Rodar 2 horas.
- 2 g/L Bicarbonato de Sodio
- Rodar 4 horas
- pH= 4,0-4,2 TC=100°C.

C. EFLUENTES DE LA CURTICIÓN CON CROMO

Vargas, R. (2005), menciona que se denomina curtiembre al proceso de someter las pieles de animales a una serie de tratamientos con diversas sustancias llamadas curtientes y otras diversas operaciones, destinadas a producir en ellas modificaciones químicas y físicas, con el fin de convertirlas en material duradero, casi imputrescible, apenas permeable al agua y, a la vez, suave, elástico y flexible, o sea el cuero o la piel curtida, el curtido comprende los pasos de desencalado,

purga y piquelado. El desencalado es la preparación de las pieles mediante lavados con agua limpia, tratando de reducir la alcalinidad y removiendo los residuos de cal y sulfuro. Se utilizan aguas que contienen sulfato de amonio y ácidos, en tambores rotativos, lo cual genera parte del efluente con cargas de cal y sulfuro de sodio que, posteriormente, son procesadas en el efluente.

Huamaní, G. (2011), señala que el piquelado se realiza en los tambores rotativos como preparación, y consiste en la acidulación de las pieles, con el objeto de evitar el hinchamiento y para fijar las sales de Cr entre las células. Las aguas obtenidas contienen diferentes concentraciones de Cr^{3+} , entre otras. El procedimiento a seguir para la depuración depende de su concentración. Existen tres tipos de procesos, según el curtiente empleado. El curtido vegetal, que emplea taninos vegetales, se usa para la producción de suelas. Las fuentes del tanino son el extracto de quebracho y corteza de acacia negra y la mimosa. Antiguamente, las pieles eran curtidas en pozas; este proceso tomaba varias semanas. Hoy las curtiembres modernas se hacen en tambores rotativos durante 12 horas con una solución al 12 %.

Hidalgo, L. (2004), reporta que el curtido mineral, que emplea sales, se usa en la producción de cueros para la fabricación de calzados, guantes, ropa, bolsos, etc. Reduce el tiempo a menos, en un día, además de producir un cuero con mayor resistencia al calor y al desgaste. En este se utilizan sales de Cr; las de Mg y Al también se usan para casos especiales. El curtido sintético, que emplea curtientes orgánicos sobre la base del formol, quinona y otros productos, es más uniforme y aumenta la penetración de los taninos. Debido a sus costos elevados, es poco usado. Se procesa el cuero para la fabricación de suela, para talabartería, correas, monturas, usos industriales y de cueros repujados.

1. Impactos del cromo en la salud

Rivero, M y Muñoz, V. (2012), mencionan que los efectos tóxicos del Cr^{3+} son menores a los del Cr^{6+} , conocido cancerígeno, ya que éste puede ocasionar

manifestaciones agudas y crónicas en las personas que hayan estado en contacto directo. En relación con los efectos sobre el medio ambiente acuático, el Cr^{3+} puede ser oxidado a la forma Hexavalente a un pH entre 5.5 y 6, proceso que es favorecido por la presencia de óxido de manganeso. Los compuestos hexavalentes se absorben por vía digestiva, cutánea y respiratoria; penetran con facilidad en el interior de los eritrocitos, se combinan con la fracción globínica de la hemoglobina, y se reducen posteriormente a estado trivalente; en esta forma tiene gran afinidad por las proteínas plasmáticas, principalmente a la transferrina. La principal vía de eliminación es la renal (80 %). La ingesta produce un cuadro gastrointestinal en forma de vómitos, dolores abdominales, diarreas y hemorragias intestinales. Se han descrito casos de muerte, por colapso cardiocirculatorio; si el paciente sobrevive, puede aparecer una insuficiencia renal aguda.

Menendez, P. (2016), indica que la vía de absorción cutánea es de más fácil acceso al organismo, frente a lo cual cabe destacar el cuadro patológico de la dermatitis alérgica de contacto. En esta los compuestos de Cr^{6+} penetran en la piel más rápidamente que los compuestos de Cr^{3+} ; la penetración de los cromatos aumenta con el incremento de pH dependiendo de la naturaleza del anión y la integridad de la epidermis que forma la barrera más importante para la absorción de estos productos, ya que la piel y sus componentes facilitan la reducción de los cromatos y el Cr^{3+} se une fuertemente. Los valores límite y en medios biológicos para estos compuestos han sido propuestos por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), la NIOSH, la OSHA y otros. Para nuestra región, la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá reporta valores de referencia para población general hasta $10 \mu\text{g/L}$ y para población Expuesta hasta $20 \mu\text{g/L}$.

El Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles, (2003), indica que en muchos casos se presenta la intoxicación crónica, que es el contacto cutáneo con compuestos hexavalentes que producen úlceras de 5 a 10 mm, no dolorosas, que suelen afectar el dorso de las manos y de los dedos; reciben el nombre de úlceras en "nido de paloma". También pueden ocasionar dermatitis de contacto irritativas y alérgicas; como también, la exposición se relaciona con cuadros de bronquitis y de asma, ulceraciones y perforaciones nasales. Por regla general la contaminación

en el agua superficial y de los sedimentos no suele repercutir de forma peligrosa en los niveles del agua subterránea, debido a la retención de las partículas del suelo durante el proceso de infiltración. No obstante, en ocasiones se ha observado contaminación por Cr6+ en estas. Respecto a esto, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA), advirtió que el Cr, Ar, Pb y los sulfuros que utilizan las curtiembres causan severos daños como la leucemia. Los compuestos Cr6+ pueden absorberse por ingestión o inhalación, produciendo un efecto irritante inmediato y ulceraciones. Estas producen la necrosis del tejido circundante llegando a perforar el tabique. La intoxicación en trabajadores expuestos al contacto puede producirse por la inhalación de polvo y humos procedentes de la fabricación del dicromato.

Hidalgo, L. (2004), indica que también, puede producirse durante la soldadura del acero inoxidable, el contacto con cemento, cuero, materiales de la industria gráfica, curtido de pieles y varios tipos de trabajo con metales. Existen numerosos trabajos que describen la interacción del Cr con proteínas del sistema inmune, formando complejos antígeno-anticuerpo. Esto explica la localización de las lesiones alrededor de las glándulas sudoríparas y por qué cantidades muy pequeñas de dicromato pueden producir sensibilización. En cuanto a los efectos carcinogénicos, se ha descrito un aumento de la incidencia en los pulmones, en trabajadores expuestos durante 15 años o más. Los cromatos de Zn y Ca parecen ser los más cancerígenos y se cuentan entre los más potentes en humanos. La exposición intensa a los compuestos ha producido una incidencia muy elevada de cáncer de pulmón.

2. Impacto del cromo en los ecosistemas

Chávez, A. (2010), indica que en los ecosistemas acuáticos, el Cr6+ se encuentra principalmente en forma soluble, que puede ser lo suficientemente estable como para ser transportado por el agua. Sin embargo, éste finalmente se convierte en Cr3+ mediante la reducción de especies tales como las sustancias orgánicas, el ácido sulfhídrico, el azufre, el sulfuro de hierro, el amonio y el nitrito. Por lo general, esa forma trivalente no migra de manera significativa sino que se precipita rápidamente y se adsorbe en partículas en suspensión y sedimentos del fondo. Se

ha comprobado que se acumulan en muchas especies acuáticas, especialmente en peces que se alimentan del fondo, como el bagre (*Ictalurus nebulosus*), en los bivalvos, como la ostra (*Crassostrea virginica*), el mejillón azul (*Mytilus edulis*) y la almeja de caparazón blando.

Hidalgo, L. (2004), señala que en los suelos, el cromo trivalente (Cr^{3+}), es relativamente inmóvil debido a su gran capacidad de adsorción en los suelos, pero el Cr^{6+} es muy inestable. Las reacciones redox afectan la biodisponibilidad y la toxicidad del mismo. La oxidación puede ocurrir en presencia de óxidos de Fe y Mg, en suelos frescos y húmedos (anaeróbicos) y en condiciones levemente ácidas. La reducción puede ocurrir en presencia de sulfuros y Fe (II) (condiciones anaeróbicas) y se acelera en presencia de materia orgánica. Debido a esta razón, aunque el Cr^{3+} (en muy bajas dosis) constituye un microelemento esencial en los animales, el Cr^{6+} es no esencial y tóxico en concentraciones bajas; por lo cual deben controlarse las actividades antrópicas que liberan Cr^{3+} . Aun cuando se libera al ambiente, no existe garantía alguna de que permanezca en ese estado químico. Por ejemplo, la práctica de depositar residuos en rellenos sanitarios con contenido de Cr^{3+} provenientes de curtiembres, junto con otros desechos industriales ácidos o con desechos cloacales, que crean condiciones ácidas al descomponerse, puede transformar el Cr^{3+} en Cr^{6+} .

3. Tecnología para remoción de Cr con intercambio iónico

Leonard, N. (2008), explica que intercambio de iones se realiza mediante un polímero en forma de esferas diminutas que son capaces de intercambiar iones particulares por otros iones, en una solución que se pasa a través de ellos. A estas esferas de gel sintéticas se les llama "Resinas de intercambio iónico". Esta capacidad también se observa en varios sistemas naturales, tales como los suelos y las células vivas. Las resinas sintéticas no sólo se utilizan para la purificación del agua, sino también para varias otras aplicaciones incluyen la separación de algunos elementos. El contacto entre iones de ciertos materiales genera un intercambio de los mismos en una solución de contacto. Esta capacidad la tienen algunas sustancias artificiales y naturales; las primeras son resinas de intercambio iónico

constituidas por un polímero orgánico al que se le incluyen grupos ionizables, específicos, de modo que pueden modificarse las características de capacidad y velocidad de intercambio junto con la selectividad de materiales. Estas resinas se utilizan en purificación de aguas y tratamiento de aguas residuales, con el fin de concentrar ciertos reactivos y recuperarlos para su uso posterior. Para el caso particular de la remoción del Cr la técnica se realiza mediante la oxidación de Cr^{6+} a Cr^{3+} para su posterior fijación en la columna de intercambio iónico con una resina básica. Otra sustancia apropiada para propósitos de intercambio iónico es la alúmina activada que contribuye a la retención de iones inorgánicos de soluciones acuosas, y se puede comportar como intercambiador catiónico en medio básico y aniónico en medio ácido.

4. Precipitación

Romero J, (2002), señala que la recuperación de Cr por este método, se lleva a cabo una reacción de precipitación de Cr^{3+} como $\text{Cr}(\text{OH})_3$ posteriormente disolviéndolo con H_2SO_4 . Esta relación puede ejecutarse con cualquier ácido que incremente el pH hasta un valor de 9. La solubilidad del $\text{Cr}(\text{OH})_3$ en agua es 1.24×10^{-8} M, luego se puede recuperar con baños agotados hasta el 99 %, controlando la redisolución del precipitado. Para estos casos los agentes precipitantes más utilizados en pruebas son el hidróxido de sodio por adición en solución acuosa, hidróxido de calcio por adición sólida estequiométrica y urea, todos agitados mecánicamente a temperatura de 80 grados centígrados. Los parámetros que se tienen en cuenta para calcular la eficiencia de cada agente precipitante son el tiempo de decantación, el volumen del precipitado (altura en el vaso de precipitados), el contenido de material en el filtrado obtenido y el contenido de éste en el precipitado seco.

5. Materiales adsorbentes

Espinoza, P. (2016), indica que el hidróxido de Cr obtenido, transformado en sulfato de Cr monobásico, puede reutilizarse en el 47 Descripción de la nocividad del cromo

proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo procesamiento del cuero como sal curtiembre. Para el hidrolizado de colágeno se evaluó la disminución del contenido de Cr por medio de variación del pH en el proceso de hidrólisis alcalina de las virutas y el uso de materiales adsorbentes como bentonita, biomasa de alfalfa y sorgo, carbón activado, entre otros. El contenido de materia orgánica y sólidos en los baños desgastados afecta de manera significativa la remoción y recuperación del Cr³⁺. La formación de CO₂ debido al uso del carbonato dificulta la separación del precipitado; esto ocasiona largos tiempos de sedimentación y es una desventaja en la operación comparada con el uso de los hidróxidos. En el proceso de precipitación-sedimentación, simultáneamente con la remoción del Cr se puede llegar a obtener una disminución de la concentración de los sólidos suspendidos y de la DQO.

a. Biomateriales

Unidad de Medio Ambiente. (2001), enseña que los procesos de remoción de metales por biomateriales están basados en la natural y fuerte afinidad de sus componentes celulares por los iones metálicos. En estos, el uso de sistemas inactivos puede presentar varias ventajas, ya que no requieren de un pretratamiento con nutrientes para mantener su actividad. Con biomasa inmovilizada también han probado ser de utilidad en la remoción y recuperación de metales en sistemas continuos. Este tipo de tecnologías es novedoso y su desarrollo puede ser particularmente competitivo en el tratamiento de efluentes industriales, ya que permiten la recuperación de los metales, la reutilización de la biomasa y el agua.

b. Biotecnología

Vallejo, R. (2004), indica que esta nueva metodología está basada en técnicas biotecnológicas, donde se pretende tratar las aguas residuales mediante el secuestro específico del Cr por hongos acidófilos para posteriormente proceder a su separación. Los hongos se desarrollan en medio ácido, en presencia de Cr; después de la inducción al medio son capaces de secuestrarlo y, por lo tanto, de

eliminarlo. De los primeros estudios realizados se deduce que existen posibilidades para su aplicación a aguas residuales de curtición.

6. Electrocoagulación

Aguirre, A. (2002), inicia que la electrocoagulación es un método electroquímico usado para el tratamiento de aguas residuales que ha sido utilizado para remover un amplio número de contaminantes. Éste ha logrado ser comercializado, pero ha sido poco indicado, a pesar de que tiene un gran potencial para eliminar las desventajas de los tratamientos clásicos para aguas residuales. Implica varios fenómenos químicos y físicos, y usa electrodos para proveer iones al agua residual que se desea tratar. En esta técnica el coagulante es generado '*in situ*', debido a una reacción de oxidación del ánodo. Las especies cargadas o metales pesados pueden ser removidos del efluente debido a la reacción entre iones con carga opuesta o a la formación de flóculos de hidróxidos metálicos. Las etapas implican que debido a la oxidación del electrodo se presenta la formación de coágulos: desestabilización del contaminante, partículas en suspensión y rompimiento de emulsiones; formación de flóculos agregando partículas desestabilizadas; y remoción del material contaminante por flotación y sedimentación. En esta técnica cuando un potencial es aplicado a los electrodos, los cuales son hechos de diferentes metales, especialmente Fe y Al, se genera el siguiente proceso: - el metal del ánodo se disuelve dando origen a iones metálicos, los cuales son hidrolizados inmediatamente para formar hidróxidos o polihidróxidos; estas sustancias son excelentes agentes coagulantes. La coagulación ocurre cuando estos cationes (hidróxidos y polihidróxidos) son atraídos por las partículas negativas presentes en la solución; los contaminantes presentes en el agua residual son tratados por medio de reacciones químicas y precipitación o combinación con material coloidal; para después ser removidos por electroflotación, sedimentación o filtración.

7. Membranas

EL Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales. (2008), señala que es un proceso novedoso, bastante costoso, que tiene por finalidad

separar el agua de las sales inorgánicas a través de una membrana que permite el paso del agua; impide el paso de las sales; trabaja a presiones entre 400 y 800 psi, generadas por bombas a fin de impulsar el agua para que pase a través de una membrana y deje tras sí el líquido. Las membranas son de acetato de celulosa y su costo puede representar más del 50 % del costo del equipo; este procedimiento es muy sensible a las variaciones bruscas de temperaturas.

D. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES EN CURTIEMBRES

Taboada, J, (2005), menciona que el principio de tratamiento de aguas residuales industriales que rige en las curtiembres es el tratamiento de aguas básicas y ácidas por separado. Es un principio justificable considerando los contaminantes existentes en dichas aguas. Por ejemplo las aguas básicas procedentes del remojo, pelambre, lavados y desenlacado contienen principalmente sulfuros y cal, estos contaminantes al mezclarse con aguas ácidas generaran sulfuro de hidrógeno, gas que es tóxico en altas concentraciones. En países como Brasil, Argentina y Colombia, países en los que la producción de cuero es mucho mayor y avanzada que en Ecuador se utilizan sistemas de tratamiento de agua en reactores de aireación. Este sistema de tratamiento consiste en la inyección de aire al agua residual mediante un compresor logrando reducir los contaminantes existentes en el agua residual. Los residuos industriales líquidos (RILES) de curtiembre, se caracterizan por presentar alta contaminación orgánica y tóxica asociada a sales, sulfuro y cromo, provenientes del proceso. Ello constituye un problema desde el punto de vista ambiental y para la sobrevivencia de las empresas que no cumplen con las exigencias de descarga de sus RILES. A continuación se describe el sistema de recolección de aguas

a. Sistema de recolección de aguas

Espinoza, P. (2016), indica que los sistemas de recolección de aguas en la industria de la curtiembre se basan en piscinas que funcionan igual que tanques de igualamiento de caudal. El igualamiento consiste en amortiguar las variaciones de

caudal para lograr un caudal constante, al mismo tiempo, si se requiere. Se estabiliza el pH y hace que se mas fácil la posterior dosificación de químicos. Como es conocido, las curtiembres no generan efluentes continuamente sino que, después de que los baños han culminado, se abren las compuertas de los bombos y en cada revolución del bombo se descarga un volumen de agua hasta que el bombo quede vacío. En las piscinas se recolectan los efluentes en función de su pH, las aguas básicas son recolectadas en una piscina diferente a las de las aguas ácidas a fin de tratarlas por separado.

b. Aireación

Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales. (2004), discute que la aireación es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto íntimo con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ellas. Su función principal, en el tratamiento de aguas residuales, consiste en proporcionar oxígeno y mezcla en los procesos de tratamiento biológico aerobios. Los equipos de aireación utilizados para el tratamiento de aguas residuales son de tres tipos:

- Equipos de aireación difusa en los cuales el aire, en forma de burbujas, es dispersado a través del tanque de aireación
- Sistemas de turbina en los que el aire se crea mediante agitación de paletas de turbina
- Sistemas de aireación superficial, los cuales airean el agua mediante la creación de turbulencia superficial por equipos con motores.

El Centro de Producción Más Limpia CPML (2008), manifiesta que los equipos de aireación difusa inyectan aire bajo presión utilizando compresores. El aire es distribuido en burbujas a través de tubos o conductos los cuales se encuentran en al fondo del tanque de aireación. Las burbujas son distribuidas a través del tanque por tubos con orificios, medios porosos, fibra de vidrio torcida o materiales

envueltos con sarán. Mientras el tamaño de la burbuja sea menor, la eficiencia del sistema de aireación es mayor. Los sistemas de turbina y de aireación superficial pueden transmitir hasta 2 Kg de O₂/kW.h, sin embargo las plantas pequeñas, las cuales requieren menor cantidad de oxígeno, pueden funcionar con sistemas de aireación difuso el cual a la vez es más económico. Los difusores de aireación se utilizan en tanques con profundidades de 2.5 a 5.0 metros, ancho entre tres y nueve metros y una relación de ancho/profundidad menor de dos para asegurar una mezcla apropiada. El consumo de aire oscila entre 0.075 y 1.12 m³ de aire por m³ de agua; el flujo de aire por unidad oscila entre 0.11 y 0.45 m³ /min. Dado que la principal característica de los difusores es la capacidad de transferir oxígeno al agua.

c. Sistema de coagulación y floculación

El Centro de Promoción de Tecnologías Sustentables CPTS (2003), indica que en muchos casos parte de la materia en suspensión puede estar formada por partículas de muy pequeño tamaño (10.6 – 10.9 m), lo que conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Es una operación que se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como en industriales. Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe³⁺, Al³⁺) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación:

- Sales de Fe³⁺: Pueden ser Cl₃Fe o Fe₂(SO₄)₃, con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de

una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.

- Sales de Al^{3+} : Suele ser $Al_2(SO_4)_3$ o policloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado. Polielectrolitos: Pueden ser polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas). Las cantidades a dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficacia como el coste es mucho mayor.

Frankel, A. (2009), menciona que los equipos en los que se lleva a cabo este proceso (sedimentación), suelen constar de dos partes bien diferenciadas: Una primera donde se adicionan los reactivos, y se somete el agua a una fuerte agitación y durante un corto período de tiempo, con el objetivo de conseguir una buena y rápida mezcla de reactivos y coloide para llevar a cabo la coagulación. A continuación se pasa a una zona donde la agitación es mucho menos intensa y donde el agua permanece más tiempo. En este caso el objetivo es que se produzca la floculación. De esta forma la materia en suspensión tiene unas características mucho más adecuadas para su eliminación mecánica.

Soler, J. (2004), indica que la materia en suspensión puede ser de diversos diámetros, desde partículas de varios centímetros y muy densas, hasta suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partícula de hasta unos pocos nanómetros. También la concentración de los mismos, tanto en el agua a tratar como en el agua una vez tratada, es muy importante a la hora de la elección del tratamiento más conveniente. Las operaciones para eliminar este tipo de contaminación de aguas suelen ser las primeras en efectuarse, dado que la presencia de partículas en suspensión suele ser indeseable en muchos otros procesos de tratamiento. La eliminación de esta materia en suspensión se suele hacer mediante operaciones mecánicas. Sin embargo, en muchos casos, y para favorecer esa separación, se utilizan aditivos químicos.

d. Sedimentación

Frendup, W. (2008), señala que la sedimentación es una operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. Este tipo de partículas (grandes y densas, como las arenas) se tienen en pocas ocasiones en aguas industriales. Lo más habitual es encontrar sólidos poco densos, por lo que es necesario, para hacer más eficaz la operación, llevar a cabo una coagulación o floculación previa que consiste en la adición de ciertos reactivos químicos para favorecer el aumento del tamaño y densidad de las partículas. La forma de los equipos donde llevar a cabo la sedimentación es variable, en función de las características de las partículas a sedimentar.

- Sedimentadores rectangulares.- La velocidad de desplazamiento horizontal del agua es constante y se suelen utilizar para separar partículas densas y grandes (arenas).
- Sedimentadores circulares.- Son más habituales. En ellos el flujo de agua suele ser radial desde el centro hacia el exterior, por lo que la velocidad de desplazamiento del agua disminuye al alejarnos del centro del sedimentador.

Gulas, V. 2008), expone que esta forma de operar es adecuada cuando la sedimentación va acompañada de una floculación de las partículas, en las que el tamaño de flóculo aumenta al descender las partículas, y por lo tanto aumenta su velocidad de sedimentación. Las partículas depositadas en el fondo de los equipos, denominados lodos, se arrastran mediante rasquetas desde el fondo donde son desplazados hacia la salida. Estos lodos se someten a distintas operaciones para reducir su volumen y darles un destino final. Tratamiento de lodos Debido al tratamiento del agua residual se extraen lodos producidos por la sedimentación de los sólidos sedimentables, suspendidos y por los flóculos de materia formados y

removidos. Estos sólidos son generados en todas las etapas de manera que al final del tratamiento del agua se ha conseguido un volumen considerable de lodos. Estos lodos son considerados de gran carga contaminante por la alta concentración de materia orgánica. El tratamiento que se da a los lodos es el secado de los mismos mediante sistemas de desaguado, los cuales extraen hasta el 85 % del agua de los lodos. El sacado del lodo ayuda al transporte y manejo del lodo así como la disminución de lixiviados en la disposición final de los mismos.

El tratamiento de efluentes industriales siempre se lleva a cabo en función de las exigencias y normativas respectivas que establece la ley. Tomando como ejemplo el caso particular de Alemania, país donde las leyes y normativas están sujetas a un constante cambio y adaptación, se ilustrará el efecto que éstas tienen sobre el desarrollo de la tecnología de tratamiento. En el caso de aguas residuales provenientes de curtiembres, la restricción de DBO5, (demanda biológica de oxígeno 5 días) o DQO (demanda química de oxígeno) significa que se requiere de un tratamiento biológico, el que, generalmente, no es posible llevar a cabo en curtiembres ubicadas en zonas urbanas, debido a la falta de espacio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO

La presente investigación se desarrolló en el laboratorio de curtición de pieles de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que se encuentra ubicada en la panamericana Sur Km1 ½, del cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo. El tiempo de duración de la presente investigación fue de 60 días, distribuido entre las diferentes etapas y actividades a desarrollarse para el cumplimiento de los objetivos. En el cuadro 1, se muestran los valores de las variables meteorológicas de la zona donde se ejecutó el presente proyecto de investigación.

Cuadro 1. VALOR DE LAS CONDICIONES METEOROLÓGICAS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA.

| Variable meteorológica | Valor | Unidad |
|------------------------|-------|--------|
| Precipitación | 0,3 | mm |
| Temperatura mínima | 7 | °C |
| Temperatura máxima | 20 | °C |
| Humedad | 82 | % |
| Velocidad del viento | 27 | km/h |

Fuente: http://www.meteored.com.ec/tiempo-en_Riobamba-America+Sur-Ecuador

B. UNIDADES EXPERIMENTALES

Considerando que la presente investigación buscó realizar el diseño, implementación y posterior evaluación de una máquina para la recuperación de cromo de las corrientes residuales del proceso de curtición de pieles no se requiere establecer unidades de carácter experimental.

C. INSTALACIONES, EQUIPOS Y MATERIALES

Para el desarrollo de las actividades previstas dentro de la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Tanques plásticos de diferente capacidad
- Tubería plástica
- Accesorios para conexiones de tubería
- Flexómetro
- Herramientas para mecánica industrial
- Generador eléctrico
- Sistema de bombeo
- Recipientes de metal de diferentes capacidades
- Balanza analítica
- Bandeja de recolección de cromo
- Palas
- Cronometro
- Termómetro
- Calculadora
- Computadora
- Impresora
- Cámara fotográfica
- Insumos de oficina
- Botas
- Guantes
- Mascarilla
- Mandil
- Taladro
- Pernos
- Acoples
- Cables
- Cofia

D. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

La presente investigación se desarrolló en el laboratorio de curtición de pieles de la Facultad de Ciencias Pecuarias, lugar dónde se diseñó y se implementó la máquina recuperadora de cromo, por lo que en el presente proyecto no se dispone de tratamientos experimentales, sino que respondió al estudio de un diseño de procesos para la construcción y evaluación de la máquina recuperadora de cromo, la cual permitió recuperar este metal para la reutilización en el proceso y reducir costos de producción. Y además se realizó una comparación del antes y después del diseño e implementación del prototipo mecánico para la recuperación de cromo utilizado en la curtición de pieles

E. MEDICIONES EXPERIMENTALES

Para la valoración de la eficiencia de la maquina en la recuperación del cromo de los baños residuales en la curtición de las pieles se realizó la cuantificación de las siguientes variables experimentales:

Pruebas físicas del cuero

- Resistencia a la tensión del cuero (N/cm²).
- Porcentaje de elongación, (%).
- Lastometría, (mm).

Pruebas sensoriales del cuero

- Llenura, (puntos).
- Blandura, (puntos).
- Tamaño del grano, (puntos).

Económicas

- Costos de producción

F. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS Y PRUEBA DE SIGNIFICACIÓN

Para el ordenamiento, síntesis y análisis de los datos obtenidos en la medición experimental referentes a la eficiencia y condiciones de operación de la máquina para recuperación del cromo del agua residual proveniente de los baños de curtición se aplicó una estadística de carácter descriptiva a las diferentes mediciones experimentales y que contempla las siguientes pruebas:

- Media
- Mediana
- Moda
- Varianza
- Desviación estándar
- Prueba de t student

G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Determinación de los caudales a procesar

Para el diseño de la máquina de recuperación de cromo (es decir el dimensionamiento de los componentes) se realizó en primer lugar la cuantificación de la cantidad de agua residual a tratar, para ello se realizó la curtición de una piel experimental de mayor aplicación (principalmente pieles bovinas) y se recogió en un recipiente graduado la totalidad del agua generada en la eliminación de los baños de curtición, para de esta manera determinar la cantidad de agua residual generada en la producción de una piel.

Posteriormente se realizó un análisis y cuantificación del número de pieles curtidas en un lapso de tiempo igual a 15 dentro del laboratorio, para posteriormente determinar el total de agua generada en la curtición de las pieles.

2. Diseño de la maquina

- Evaluación de la Planta de Curtiembre: Se realizó la evaluación con el fin de determinar el área donde fue colocada y el espacio que ocupó la planta de recuperación de cromo.
- Dentro del diseño de la máquina de recuperación del cromo se realizó la determinación teórica de la capacidad y dimensiones del prototipo, tomando en consideración principalmente la cantidad de agua a tratar, el tiempo que se aplicó para la recuperación del cromo y la facilidad en la operación. La cantidad del agua a tratar se determinó con el lineamiento descrito previamente y el tiempo de procesamiento se lo determinó en base a los datos referenciales que presenta la teoría.
- Adquisición de materiales para construcción del prototipo mecánico: Se procedió a la adquisición de materiales de alta resistencia a la corrosión, formados principalmente de polietileno y polipropileno
- Construcción del prototipo mecánico para la recuperación de cromo utilizado en la curtición de pieles: Se construyó el prototipo mecánico para la recuperación de cromo utilizado en la curtición de pieles con materiales de alta resistencia de corrosión, y con especificaciones de calidad que se contemplan en las diferentes normas técnicas.
- Instalación del prototipo mecánico para la recuperación de cromo utilizado en la curtición de pieles: Se instaló prototipo y se realizó los diferentes cálculos y ajustes del equipo para su óptimo funcionamiento en el Laboratorio de Curtición de la Facultad de Ciencias Pecuarias.
- Evaluación del prototipo mecánico para la recuperación de cromo utilizado en la curtición de pieles: Se realizó la evaluación para comprobar el funcionamiento correcto del prototipo mecánico para la recuperación de cromo utilizado en la curtición de pieles; a través, de un proceso de curtido.

H. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

1. Resistencias físicas del cuero

La máquina que se utilizó para realizar los ensayos de resistencia a la tensión traccional que sufrió la probeta de cuero al someterla a la fuerza atractiva ascendente. La misma, estuvo diseñada para:

- Alargar la probeta a una velocidad constante y continua y se registró las fuerzas que se aplicaron y los alargamientos, que se observaron en la probeta.
- Alcanzó la fuerza suficiente para producir la fractura o deformación permanentemente (Rotura total) y brindó la lectura de los valores de elongación alcanzados hasta la fractura de la probeta.
- Con una velocidad uniforme de separación de mordazas de 100 mm/min \pm 20 mm/min, y un sistema de determinación de la extensión de la probeta.
- Mordazas, con una longitud mínima de 45 mm en la dirección de la carga aplicada, capaces para ejercer una sujeción constante. La textura y diseño de las caras internas de las mordazas, con una máxima carga alcanzada en el ensayo, no permite que la muestra se deslice más del 1 % de la separación inicial entre las mordazas.

Durante el ensayo de resistencia a la tensión por tracción de la probeta, la operación se realizó colocando primeramente los extremos opuestos de la probeta entre las mordazas y se separaron. La probeta debió quedar firmemente sujeta en las mordazas tensoras para evitar deslizamientos, lo cual provoco lecturas falseadas de los resultados. Para el encendido de la máquina, calibración y accionamiento, se efectuó el siguiente procedimiento:

- Una vez que sea colocada firmemente la probeta entre las mordazas tensoras, se encendió la máquina y, habiéndose logrado una ligera tensión inicial en su

colocación, se procedió a la calibración de la maquina; llevándola convenientemente a cero el valor de lectura inicial.

- Una vez alcanzado este propósito se acometió la tarea de producir el estiramiento de la probeta hasta romperla. Esto se logró mediante el movimiento ascendente de la mordaza móvil.
- La fuerza de tracción que se le aplicó, ira siendo registrada en el indicador de lectura; al mismo tiempo también se fueron obteniendo los valores de elongación hasta la fractura de la probeta.

Se procedió a la lectura final de los valores obtenidos, una vez que la probeta fue quebrada totalmente

2. Porcentaje de elongación

Para determinar el porcentaje de elongación se siguió el siguiente procedimiento:

- Se cortó una ranura en la probeta.
- Estas piezas estuvieron fijadas por sus extremos en las mordazas como el que se usa en el ensayo de tracción.
- Al poner en marcha la maquina la pieza en forma de " I " introducida en la probeta se separó a velocidad constante en dirección ascendente causando el desgarramiento del cuero hasta su rotura total.
- Finalmente se registró los datos obtenidos y se aplicó la fórmula, luego se procedió a calcular el porcentaje de elongación según la fórmula detallada a continuación:

$$\%En = \left(\frac{Mf - Mi}{M} \right) \times 100$$

% En= Porcentaje de elongación.

Mf= Medida final (Dato obtenido en el display de la máquina)

Mi= Medida inicial (Dato obtenido en el display de la máquina)

M= Medida inicial de la probeta.

3. Lastometría

El cálculo de la lastometría nos ayudó a determinar la deformación que le llevo al cuero de la forma plana a la forma espacial. Esta transformación provocó una fuerte tensión en la capa de flor puesto que la superficie debe alargarse más que el resto de la piel para adaptarse a la forma espacial. Si la flor no es lo suficientemente elástica para acomodarse a la nueva situación se quebró y se agrieto. Para ensayar la aptitud al montado de las pieles que deben soportar una deformación de su superficie se utilizó el método IUP 9 basado en el lastómetro.

4. Análisis sensorial

- Para calificar la blandura se sometió a repetidos dobleces el cuero para determinar la flexibilidad que presenta el cuero al doblarse bajo la acción de su propio peso infiriendo que cuando la blandura es mejor esta acción es más rápida, la cual se la pudo determinar a través del órgano de la vista y del tacto, ya que se observó la deformación y se realizó la determinación de la sensación que provoco al regresar a su estado inicial, simulando el movimiento que se realiza en el armado y en el uso diario.
- Para juzgar la llenura, se realizó repetidas palpaciones a todas las zonas del cuero para determinar los espacios interfibrilares los cuales debieron ser los precisos de acuerdo al artículo confeccionado ya que si es para calzado estos deben ser más llenos sin llegar al hinchamiento total y cuando es vestimenta deberán ser menos llenos, es decir que esta variable sensorial fue evaluada en base a la llenura ideal para la confección del artículo al cual fue destinado alcanzando la calificación más alta cuando se presente la mejor llenura.
- Tamaño del grano: es de vital importancia, sabemos que un grano demasiado grande es muy propenso a fallar por un sobreesfuerzo además de ser más frágil, sin embargo un tamaño de grano regular y pequeño presenta mejores condiciones al trabajo bajo esfuerzos, se lo mide de una forma visual utilizando una lupa para conocer mejor los detalles su homegenidad y además al deslizar por la palma de la mano deberá proporcionar una sensación agradable.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

1. Selección del diseño

Uno de los pasos fundamentales para realizar el diseño e implementación de un prototipo mecánico, es conocer el diseño, que tendrá el equipo que se va a implementar, para lo cual se debe seleccionar el equipo que más se ajuste a las condiciones experimentales que se tiene por lo que es fundamental conocer el área física en la que se va a instalar, las condiciones de operación y el costo de la unidad, debido a que existen diferentes métodos para la recuperación del cromo, que es obtenido de la industria curtiembre en la cual se utiliza como sulfato de cromo ($\text{Cr}^2(\text{SO}_4)^3$), este es muy reactivo ya que el cromo por su naturaleza química es un metal anfótero esto quiere decir que puede generar una base o un ácido en su reacción, lo cual hace que el proceso de recuperación sea un poco complejo, y se tengan que estudiar las interacciones químicas y la relación estrecha entre el pH, para la neutralización del sulfato de cromo este debe reaccionar con una base, por lo cual para la selección de diseño permitió conocer cual base actúa de mejor manera con el sulfato de cromo, para formar el hidróxido de cromo que es una base débil y que será afín de reaccionar con un ácido fuerte, neutralizando en su totalidad y liberando así el cromo en forma de ion Cr^{3+} , dicho esto se realizó una prueba de test de jarras, para determinar cuál reactivo logro mejor comportamiento al reaccionar con el cromo, y con cual después de esto se procedió a realizar una matriz de comparación para establecer cuáles serán los productos químicos que resulten mejor a la reacción, y cuál será la distribución que se tenga para la recuperación del cromo, con lo que posteriormente se realizó el diseño del prototipo mecánico en sí.

a. Test de jarras

Para la prueba de test de jarras se comparó los resultados obtenidos a una prueba dejando reacción el sulfato de aluminio con hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y con el

hidróxido de sodio (NaOH), para lo cual se debió proceder con cautela ya que son reactivos químicos que generaran daños en la salud del usuario si no se maneje con la debida precaución, las condiciones a las cuales fueron ajustadas debieron estar en un pH de 7-8, a este pH el cromo va a precipitar, así como también se examinó que la concentración final del agua después del curtido tuvo una concentración de cromo igual a 10 ppm, además que para la prueba se utilizó un equipo YFL el cual tuvo una velocidad de giro de las aspas de 20 rpm, y se tomó y para la prueba se tomó 3 muestras de cada tratamiento utilizando diferentes concentraciones de neutralizante en cada caso y que se describen a continuación, con un volumen, después de realizado esto se procedió a adicionar cada neutralizante ocupado y con lo cual se determinó el tiempo de espera de las 3 muestras en cada caso, con lo cual se determinara cual ocupa menor tiempo en la neutralización de la solución de sulfato de cromo, estos resultados se exponen en el cuadro 2, con lo cual se hizo la selección del agente neutralizante de la solución estándar de cromo.

Cuadro 2. RESULTADOS REPORTADOS A LA PRUEBA DEL TEST DE JARRA PARA DETERMINAR EL AGENTE NEUTRALIZANTE UTILIZADO

| Concentración de Neutralizante | Tiempo de Sedimentación (h) | Eficiencia (concentración por tiempo) |
|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 0.1(n NaOH /l) | 1 | 10 |
| 0.2 (n NaOH/ l) | 1,30 | 15,38 |
| 0.3 (n NaOH/ l) | 2 | 15 |
| 0.1 (n Ca (OH) ₂ /l) | 0,60 | 16,7 |
| 0.2 (n Ca (OH) ₂ / l) | 1,25 | 16 |
| 0.3 (n Ca (OH) ₂ / l) | 2,40 | 12,5 |

Evaluando los resultados obtenidos en el cuadro, se reporta que el tratamiento que más alta eficiencia obtuvo en el test de jarras fue la adición de 0,1 [N], el cual obtuvo un tiempo de sedimentación del floculo formado en 36 minutos, además cabe indicar que se escogió para la sedimentación el floculante BUFLOC 565, BL-589 que es el que menor valor tiene en el mercado y de acuerdo a manuales se añadió para todas las pruebas 1 gr de dicho floculante.

Una vez escogido el primer proceso y sabiendo que el segundo es la formación del ion cromo con al acidificación de la solución obtenida a la reacción de la prueba anterior, conociendo todo el funcionamiento del equipo se realizó la selección del procedimiento y su disposición para lo cual se escogió el diseño del prototipo, el total de equipos que debe tener el prototipo mecánico, constituye de 2 tanques de agitación con sus respectivas partes, y también un tanque sedimentador con un tamiz filtrante, que permita la separación del cromo además de una bomba centrífuga para el transporte del fluido y sus respectivas tuberías y accesorios, es el conjunto del equipo que será instalado en un pedestal , puede venir en distribución horizontal o en distribución vertical, por lo cual se debe realizar una matriz de comparación, para determinar cuál será la mejor distribución, para determinar la matriz se utilizó la siguiente ecuación:

$$\sum I * J$$

Donde:

\sum = *Sumatoria de funciones*

I: Característica Evaluada (Ponderación de acuerdo a la importancia de la características escogida por el investigador)

J: Calificación pondera (Elegida por el investigador de acuerdo a las necesidades)

Con esta fórmula, cabe establecer las características evaluadas que serán fundamentales para la selección de la mejor distribución del prototipo mecánico y estos serán:

- Flujo de agua residual tratada
- Costos de equipo
- Facilidad de operación
- Disposición de espacio
- Flujo de Cromo recuperado

De acuerdo con los factores que afectaran al normal funcionamiento del equipo se realizó la matriz de comparación, misma que se muestra en el (cuadro 3).

Cuadro 3. MATRIZ DE PONDERACION UTILIZADA PARA LA SELECCIÓN DE LA DISPOSICIÓN DEL EQUIPO.

| Factor | Ponderación | Calificación | | $\sum I * J$ | |
|--------------------------------|-------------|--------------|----------|--------------|----------|
| | | Horizontal | Vertical | Horizontal | Vertical |
| Flujo de agua residual tratada | 0,3 | 3 | 5 | 0,9 | 1,5 |
| Costos de equipo | 0,1 | 1 | 3 | 0,1 | 0,3 |
| Facilidad de operación | 0,3 | 1 | 1 | 0,3 | 0,3 |
| Disposición de espacio | 0,15 | 3 | 5 | 0,45 | 0,75 |
| Flujo de Cromo recuperado | 0,15 | 3 | 3 | 0,45 | 0,45 |
| Total | 1 | - | - | 2,2 | 3,3 |

De acuerdo con estos valores establecidos, y comparando las respuestas obtenidas en la matriz de ponderación se escoge realizar el diseño del prototipo mecánico del tipo vertical, ya que obtuvo una calificación en la matriz de ponderación igual a 3,3 cm, que fue superior a la distribución horizontal que obtuvo una calificación igual a 2,2.

Después de esto se procedió al cálculo del caudal que se tratara en el equipo, para esto se conoció las condiciones de conversión de pieles en la provincia de Chimborazo, ya que es fundamental que una vez construidos los prototipos mecánicos puedan ser utilizados por productores de la zona, con lo que las técnicas de curtición y dinamizaran la economía, se recurrió a datos de producción de efluentes en la zona de Chimborazo por la actividad de las curtiembres, y al no existir una cantidad considerable de esta industria, ese escogió que el flujo máximo para cumplir con las exigencias del usuario fuera igual a 120 lt/min, el cual será

convertido en su totalidad en el prototipo mecánico, este flujo de agua residual, será la base para los cálculos de ingeniería y además para la dosificación en el tratamiento y la conversión, con estos datos una distribución normal del proceso de recuperado de cromos era la que se muestra en el (gráfico 1).

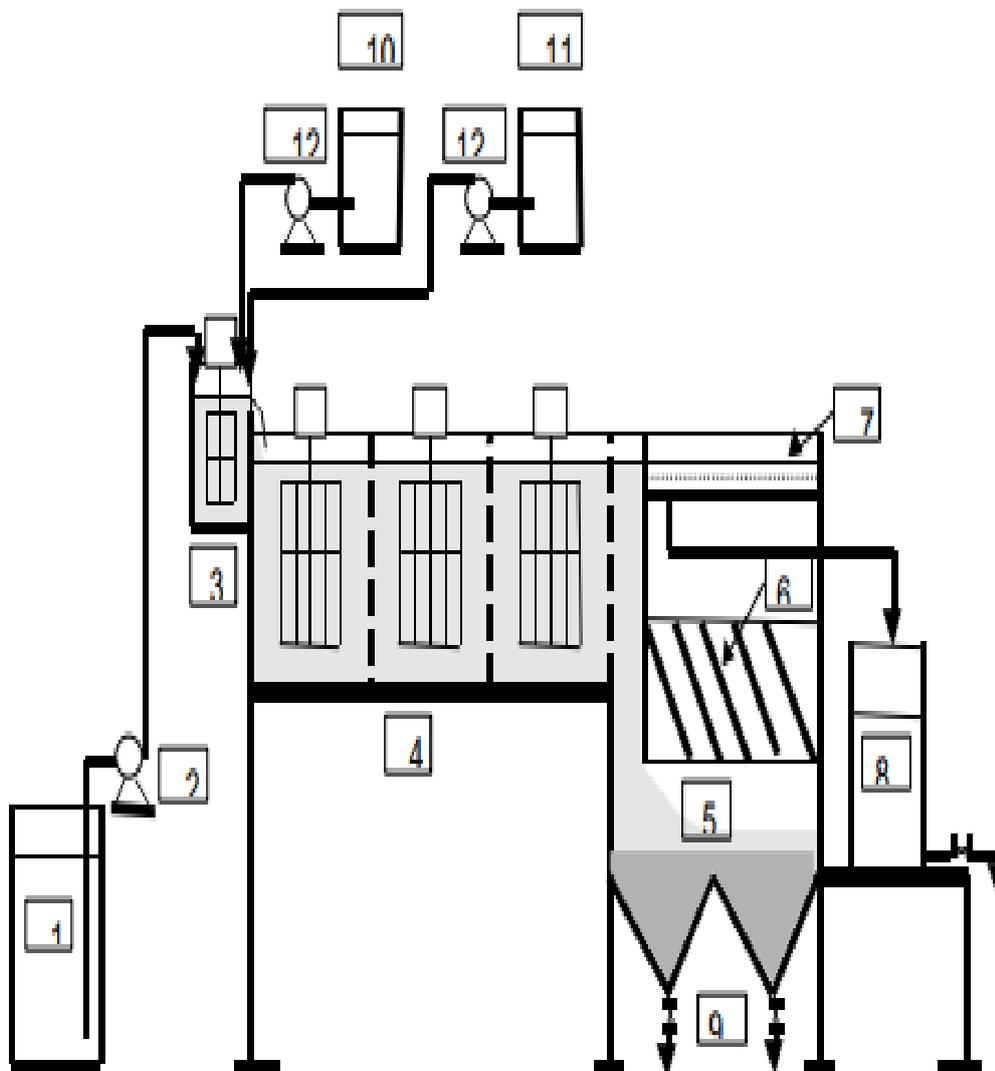


Gráfico 1. Plano planteado del prototipo mecánico para la recuperación de cromo del agua residual obtenida en la curtición de pieles ovinas

b. Selección de los materiales

Una vez que se estableció la distribución y las características del prototipo mecánico es importante que se seleccionen los materiales y equipos utilizados en el prototipo mecánico, lo cual aumentara la vida útil del equipo del equipo, así como también aumentaran la eficiencia del equipo y disminuirá los costos de operación,

ya que es fundamental que el prototipo mecánico se ajuste al presupuesto requerido. Para que sea de fácil adquisición a nivel industrial, después de esto, se debe conocer el proceso que se llevara a cabo en la recuperación de cromo, para determinar que los materiales escogidos no intervengan en la reacción y además sean resistente a la misma, por lo cual el proceso que se seguirá en al recuperación de cromo se muestra en el (gráfico 2).

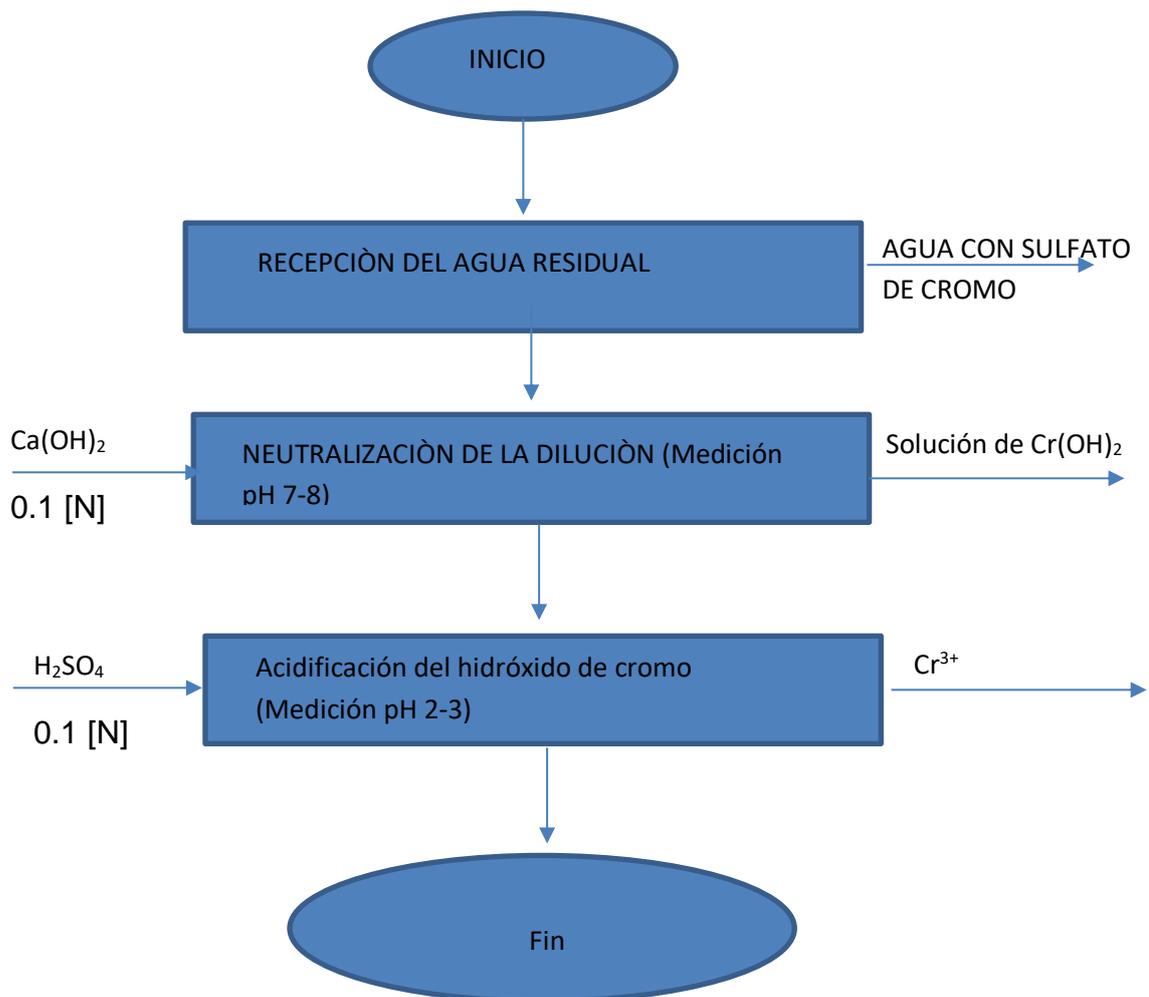


Gráfico 2. Diagrama de flujo del proceso de recuperación del cromo

Conocido el proceso es importante que los materiales sean resistentes a las reacciones que se van a llevar a cabo, al indicar que se utilizaran bases fuertes y ácidos fuertes, es importante seleccionar materiales que sean anticorrosivos y que no reaccionen con las sustancias adicionadas, es por ello que el prototipo mecánico se construyó en base a las siguientes especificaciones:

- 2 tanque de metal de acero inoxidable en donde se realizara el mezclado de las sustancias químicas
- Sistema de tuberías de PVC (cloruro de polivinil), este material es económicamente viable y no tiene reacción con las sustancias transportadas
- 1 bomba centrífuga de marca Pedrollo, esta permitirá el transporte del agua residual hacia los reactores y se realizara la selección de las características de la misma mediante cálculos de ingeniería y de los manuales de usuario de la bomba
- 1 equipo filtrante, el cual será construido en vidrio, con el fin de lograr ver de manera clara el proceso de sedimentación, para entender los fenómenos que en él se dan, además donde se podrá visualizar de manera claro los fangos obtenidos
- 1 tanque de acero inoxidable, en donde se recogerán el cromo recuperado del proceso
- Además de varias válvulas y demás accesorios, que permitirán el transporte de los fluidos hacia las etapas de transformación siguientes.

Con esta característica se escogió los materiales que serán utilizados en el procesos, por lo general y como se encuentran a la venta el material que se escogió para la construcción de los tanques fue acero AISI 304 de 40*40 cm, para lograr cumplir con las características de diseño, una vez conocida todas los materiales de construcción y las partes de construcción, se procede al dimensionamiento del equipo, que se muestra en los epígrafes siguientes y permitieron la construcción e implementación del mismo.

2. Dimensionamiento del sistema de transporte de agua residual

a. Determinación del número de Reynolds

Es fundamental conocer el número de Reynolds, para determinar la turbulencia que tendrá el flujo del fluido a través de las paredes de las tuberías y con esto poderlas

dimensionar, para el cálculo del número de Reynolds, se realiza de acuerdo a la siguiente formula:

$$N_{re} = \frac{D\bar{V}\rho}{\mu} \quad Ec.2 - 1.$$

Donde:

D: Diámetro de la tubería, m

\bar{V} : Velocidad media del fluido, $\frac{m}{s}$

ρ : Densidad del fluido, $\frac{Kg}{m^3}$

μ : Viscosidad Dinámica del fluido, P

Después de establecidas las variables que se deben establecer para determinar el número de Reynolds del fluido, se deben determinar cada una de las variables de acuerdo al orden establecido en la ecuación, 2-1, para lo cual se procedió a calcular como primer punto la velocidad de flujo del fluido, este se estableció de acuerdo a la formula siguiente:

$$\bar{V} = \frac{Q_w}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Donde:

\bar{V} : Velocidad media del fluido, $\frac{m}{s}$

Q_w : Caudal masico del agua, $\frac{m^3}{s}$

D: Diámetro de la sección transversal, m

De acuerdo a lo establecido el caudal que se escogió para el dimensionamiento del equipo fue igual a 120 lt/s, además de que el diámetro de la sección transversal se determinó mediante catálogos de proveedores de tubería, para cumplir con los requerimientos del flujo, se estableció un diámetro nominal de la tubería igual a ½ pulgada, con este diámetro nominal de acuerdo a los manuales de operación el

diámetro interior es igual a 0.0134 m, con estos datos se realiza el cálculo de la velocidad media del fluido:

$$\bar{V} = \frac{120 \frac{lt}{min} * \frac{1 cm^3}{1 lt} * \frac{1 m^3}{100^3 cm^3} * \frac{1 h}{60 s}}{\pi \left(\frac{0.0134}{2}\right)^2}$$

$$\bar{V} = 0,014 \frac{m}{s}$$

De acuerdo a datos tabulados de tablas para aguas residuales de origen industrial la densidad es igual a $1,2 \frac{Kg}{m^3}$ y la viscosidad es igual a $0,0021 \frac{Kg}{m*s}$, de acuerdo a tablas consultadas en bibliografía, por lo que despejando en la ecuación 2-1, el número de Reynolds es igual a:

$$N_{re} = \frac{0,0314 * (0,014) * (1200)}{0,0021}$$

$$N_{re} = 254,46$$

De acuerdo a datos de bibliografía para números de Reynolds es menor a 2100, el flujo alcanza un estado de flujo laminar, lo cual es recomendable que se tenga en la entrada de los equipos, ya que con esto se puede disminuir problemas en el transporte de fluidos y además ayuda al tratamiento primario que sufrirá en el mezclador, después de calcular el tipo de flujo que se tiene al interior de las tuberías, se calcula las características de la bomba, lo cual permitirá lograr transportar el fluido desde la fuente, en este caso desde los bombos de curtiembre hasta el prototipo mecánico, para conocer las características de la bomba se debe utilizar un balance de masa para determinar las características del flujo, la cual será igual a:

$$\Delta E_{cinetica} + \Delta E_{potencial} + \Delta P = W + Q$$

Donde:

$\Delta E_{cinetica}$: Variación de la energía cinética

$\Delta E_{potencial}$: Variación de la energía potencial

ΔP : Variación de la presión

W: trabajo ejercido por el flujo

Q: Calor liberado por el fluido

De acuerdo con la ecuación anterior, se reemplaza los datos de variación de energía cinética, potencial y presión, se obtiene la ecuación de continuidad de Bernoulli, agregándola el factor de fricción que es el que va experimentar el fluido al fluir a través de las paredes de la tubería, con todo estos datos la ecuación de continuidad para un flujo con fricción es igual a:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + mgh_1 + P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + mgh_2 + P_2 + \sum h + H$$

Donde:

m: Masa del agua residual, Kg

v_1 : Velocidad inicial del fluido, $\frac{m}{s}$

g: Aceleración Gravitacional, $\frac{m}{s^2}$

h_1 : Altura inicial del fluido, Kg

P_1 : Presión en el laboratorio

v_2 : Velocidad inicial del fluido, $\frac{m}{s}$

h_2 : Altura inicial del fluido, m

P_2 : Presión dentro del tanque

$\sum h$: Sumatoria de pérdidas por fricción

H: Altura dinámica de carga, m

Dado que el fluido permanece en reposo y se escoge el sistema de referencia a la altura inicial a la que se recoge el agua residual, la velocidad inicial y la altura inicial tiende a cero, además de que la presión en el laboratorio es la atmosférica, sabiendo esto la ecuación es igual a:

$$P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + mgh_2 + P_2 + \sum h + H \text{ Ec. 2 - 2}$$

Conociendo la ecuación se recurre a calcular cada uno de los factores, primero se procede a calcular el flujo másico que es igual a:

$$\dot{m} = Q$$

$$\dot{m} = 120 \frac{Kg}{h} * \frac{1 h}{3600} * 1200 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\dot{m} = 40 \frac{Kg}{s}$$

Calculada la masa de agua residual, se procede a calcular la presión dentro del tanque, la cual es la P_2 en la ecuación 2-2, esta se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$P_2 = \gamma h A$$

Donde:

P_2 : Presión interna del tanque, [Pa]

γ : Peso específico del agua residual, $\frac{m^3}{Kg}$

h : Altura del tanque, m

A : Área interna del tanque, m^2

$$P_2 = 11760 * 1,80 * 4,59$$

$$P_2 = 97344,78 \text{ [Pa]}$$

Ahora se procede a calcular las pérdidas, las cuales son la sumatoria de las pérdidas longitudinales causadas por la fricción de la tubería con el fluido y las pérdidas por accesorios, accesorios que se añaden para lograr transportar el fluido de manera normal, por lo cual para calcular las pérdidas longitudinales se aplica la siguiente formula:

$$h_c = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

f : Factor de fricción

L : Longitud de la tubería

D : Diámetro de la tubería

v : Velocidad del fluido

Para flujo laminar el factor de fricción es igual a:

$$f = \frac{64}{N_{Re}}$$

$$f = \frac{64}{254,56}$$

$$f = 0,25$$

Por lo cual las pérdidas primarias serán igual a:

$$h_c = 0,25 \cdot \frac{100}{0,0134} \cdot \frac{0,014^2}{2(9,8)}$$

$$h_c = 0,018 \text{ m}$$

Después se procede a calcular las pérdidas por accesorios o secundarias, para esto se empleó dos acoples, 3 codos de 90° para cambiar la dirección del fluido, 2 válvulas de asiento y dos válvulas de mariposa para evitar el reflujo, por lo cual se debe redactar todos los coeficientes de estos accesorios, lo cual se reporta en el (cuadro 4).

Cuadro 4. COEFICIENTES OBTENIDOS DE TABLAS PARA LA DISTINTOS ACCESORIOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA DE TRANSPORTE

| Accesorio | Coefficiente | Total |
|------------------------|--------------|-------|
| 2 acoples | 0,8 | 1,6 |
| 3 codos de 90° | 0,90 | 2,7 |
| 2 válvulas de asiento | 2 | 4 |
| 2 válvulas de mariposa | 40 | 80 |
| Total | - | 88,3 |

Fuente: Vargas, R. (2005).

Por lo cual las pérdidas generadas por los accesorios serán igual a:

$$h_f = k \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = 88,3 * \frac{(0,014)^2}{2 * 9,8}$$

$$h_f = 0,084 \text{ m}$$

Por lo cual las pérdidas totales generadas en el sistema serán iguales a:

$$h = h_f + h_c$$

$$h = 0,084 + 0,018$$

$$h = 0,10 \text{ m}$$

Por lo cual para calcular la altura dinámica total a la cual el fluido alcanzara con la presión de la bomba, se debe calcular de acuerdo a la ecuación 2-2:

$$P_1 - \frac{1}{2} \rho v_2^2 - mgh_2 - P_2 - \sum h = H$$

$$101325 - \frac{1}{2} (1200)(0,014)^2 - 40(9,8)(10) - 97344,78 - 0,10 = H$$

$$H = 60 \text{ m}$$

Después de calcular la altura dinámica de carga de la bomba, se procede a calcular la potencia que se requerirá de la bomba, de acuerdo a la siguiente formula:

$$P_b = 1,2 \cdot Q \cdot \gamma \cdot H$$

$$P_b = 1,2 \cdot 2 * 10^{-4} * 11760 * 60$$

$$P_b = 169,34 \text{ V} * \frac{1 \text{ Hp}}{745,7 \text{ V}}$$

$$P_b = 0,23 \text{ Hp}$$

Una vez establecidos los cálculos para lograr los requerimientos de transporte del agua residual del laboratorio hasta el prototipo mecánico se debe escoger una bomba de 0,25 Hp para lograr transportar el agua residual.

3. Diseño de los mezcladores

Para el diseño de los tanque de agitación, que es en donde se va a llevar a cabo la operación de mezclado, del agua residual obtenida del curtido y el carbonato de

calcio se tiene un modelo estandarizado, y de acuerdo a su geometría según bibliografía se debe preferir que el tanque sea cilíndrico lo cual permitirá que la agitación sea más homogénea, además que debe tener espas y un motor que permita el movimiento de las misma, logrando así una interacción íntima entre las sustancias reactivas, por lo que el modelo aceptado y que permitirá mejorar el rendimiento del proceso se muestra en el (gráfico 3).

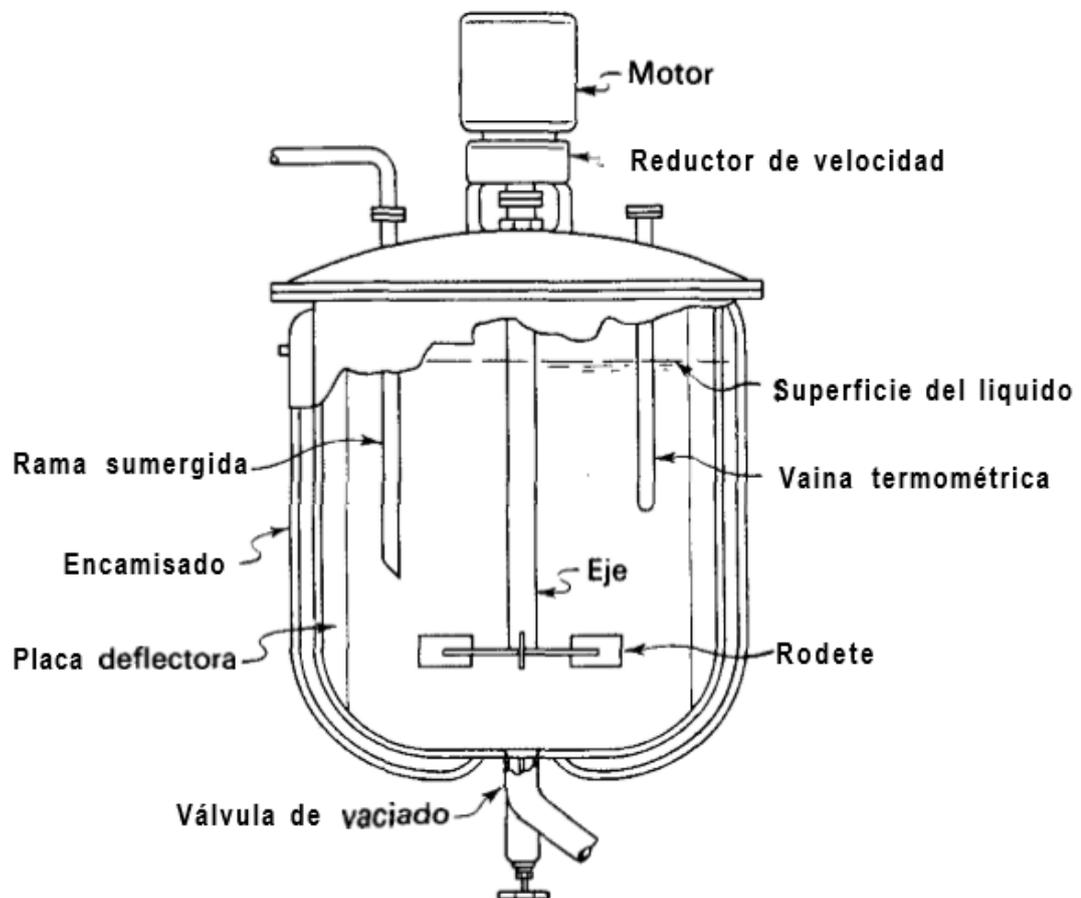


Gráfico 3. Tanque típico utilizado en la industria para la mezcla y agitación de sustancias químicas

Los factores importantes dentro del diseño de los tanques de agitación, es el control de la velocidad interna, que permite que se disminuyan los efectos de turbulencia y deficiencia de mezclado, dentro de la velocidad se debe analizar las espas, que para el caso del prototipo mecánico se eligió espas cilíndricas de 2 palas, lo cual hace que con estas condiciones describa la velocidad en tres formas: velocidad lineal, velocidad tangencial, por lo cual la velocidad que se genera se muestra en el (gráfico 4)

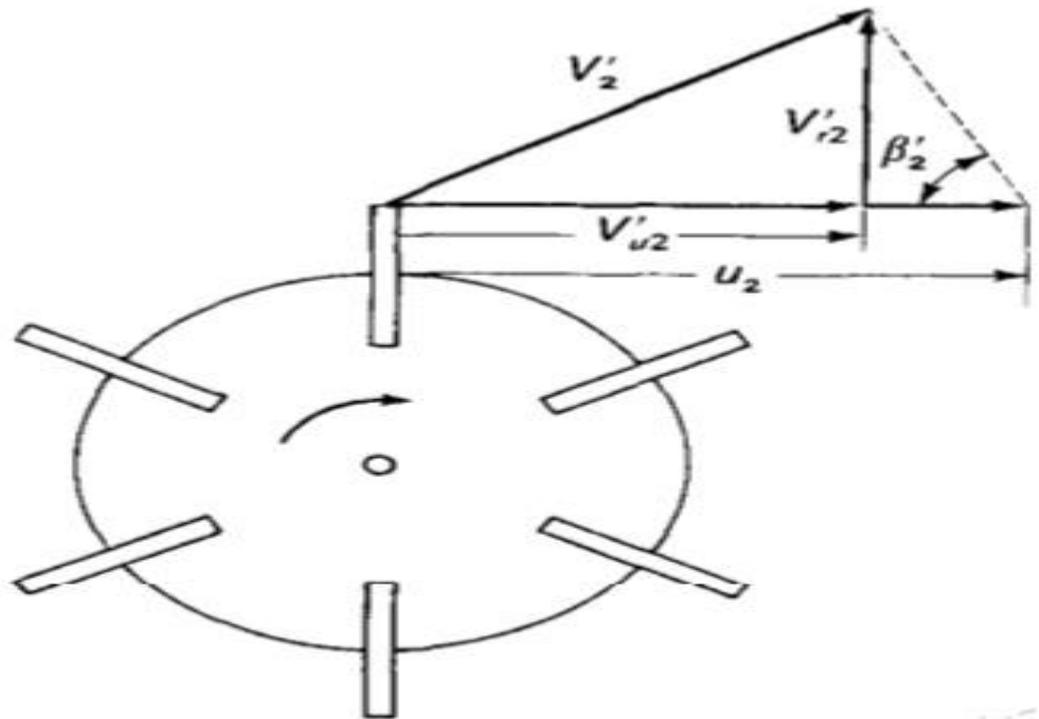


Gráfico 4. Vectores de velocidad en el extremo de la pala de un rodete de turbina

Por lo cual para el cálculo de la velocidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$\dot{V}_{u2} = k\mu_2 = k\pi D_a n$$

Donde:

K: Constante de velocidad, según datos de bibliografía para turbinas circulares es igual a 1,5

D_a: Diámetro de las aspas

n: Numero de aspas, para el modelo elegido es igual a 4

$$\dot{V}_{u2} = 1,5 * \pi * (0,7 * \sqrt{\frac{0,08}{4\pi(1,80)}}) * 4$$

$$\dot{V}_{u2} = 1,12 \frac{m}{s}$$

Después se procede a calcular la velocidad volumétrica del flujo de mezclado de acuerdo a la ecuación:

$$q = \dot{V}_{r2} A_p$$

Donde A_p es el área del cilindro de barrido por los extremos de las palas del rodete:

$$A_p = \pi D_a W$$

Donde:

D_a : Diámetro del rodete

W : Anchura de las palas

De acuerdo a la geometría establecida en el gráfico 4, sustituyendo en el triángulo rectángulo es igual a:

$$\dot{V}_{r2} = (\mu_2 - \dot{V}_{u2}) \tan \beta'_2$$

Remplazando las variables, de acuerdo a las ecuaciones anteriores la velocidad de flujo será igual a:

$$q = \pi^2 D_a^2 n W (1 - k) \tan \beta'_2$$

De acuerdo con los datos de bibliografía, para el óptimo diseño del mezclador, la anchura de las aspas vendrá dada de acuerdo a la siguiente relación:

$$\frac{1}{6} = \frac{W}{D_a}$$

$$W = \frac{D_a}{6}$$

$$W = \frac{0,041}{6}$$

$$W = 6,93 * 10^{-3}$$

Por lo cual la velocidad de flujo sabiendo que el ángulo que forma de acuerdo a bibliografía es de 30° , con estos datos la velocidad es igual a:

$$q = \pi^2 (0,041)^2 * 4 * 6,93 * 10^{-3} * (1 - 0,5) \tan 30$$

$$q = 1,32 * 10^{-4} \frac{m}{s}$$

Después de esto se calcula el número de flujo, el cual es igual a:

$$N_Q = \frac{q}{n D_a^3}$$

$$N_Q = \frac{1,32 * 10^{-4}}{(4) * (0,041)^3}$$

$$N_Q = 0,48$$

Después de calculado el número de flujo, se procede a calcular el flujo de descarga que se debe tener para la mezcla en el interior, para lo cual se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$q = 0,92nD_a^3 \left(\frac{D_T}{D_a}\right)$$

Para calcular el diámetro total D_T , se debe establecer la relación que indica en bibliografía que de acuerdo a la velocidad obtenida el diámetro es igual a:

$$\frac{D_T}{D_a} = 2$$

$$D_T = 2D_a$$

$$D_T = 0,082$$

Por lo cual el flujo de descarga es igual a:

$$q = 0,92 * 4 * (0,041)^3 \left(\frac{0,082}{0,041}\right)$$

$$q = 5,07 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Después de calcular esto, se procede a calcular el número de Reynolds generado al interior del equipo para comprender como se comportara el fluido dentro del prototipo y con esto determinar las condiciones adecuadas para el mezclado, este número adimensional se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N_{re} = \frac{D_a^2 n \rho}{\mu}$$

$$N_{re} = \frac{(0,041)^2 \cdot (4) \cdot (1200)}{0,021}$$

$$N_{re} = 320,20$$

Con estos datos de velocidad, para el normal funcionamiento del equipo mezclador se debe calcular el número de potencia, para la selección del motor y de la velocidad de giro, esta se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N_p * N_{re} = \frac{P g_c}{n^2 D_a^3 \rho \mu}$$

$$k_L = \frac{P g_c}{n^2 D_a^2 \rho}$$

$$\frac{k_L n^2 D_a^3 \rho \mu}{g_c} = P$$

Donde:

k_i : Correlación de potencia, para el presente es igual a 43,5 de acuerdo a la tabulación con respecto a las condiciones de operación de la maquina

P: Potencia consumida

n: Numero de aspas

$$\frac{43,5 \cdot (4)^2 \cdot (0,041)^3 \cdot (1200) \cdot (0,021)}{9,8} = P$$

$$P = 0,13 \text{ Hp}$$

Después de calcular la potencia necesaria para la mezcla de líquidos, es importante determinar el factor de tiempo el cual constituirá el tiempo total de mezclado que asegurara la interacción química para asegura la reacción en la recuperación del cromo, con lo cual para determinar el factor de tiempo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_e = \frac{t_T \cdot (n D_a^2)^{\frac{2}{3}} g^{\frac{1}{6}} D_t^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{2}{3}} D_T^{\frac{2}{3}}} = n t_T \cdot \left(\frac{D_a}{D_T}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_T}{H}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{g}{n^2 D_a}\right)^{\frac{1}{6}}$$

Pero antes de calcular el factor de tiempo, se debe comparar el numero de Reynolds con las condionces de operación, esto se encuentra interpolando en el diagrama que se muestra en el (gráfico 5).

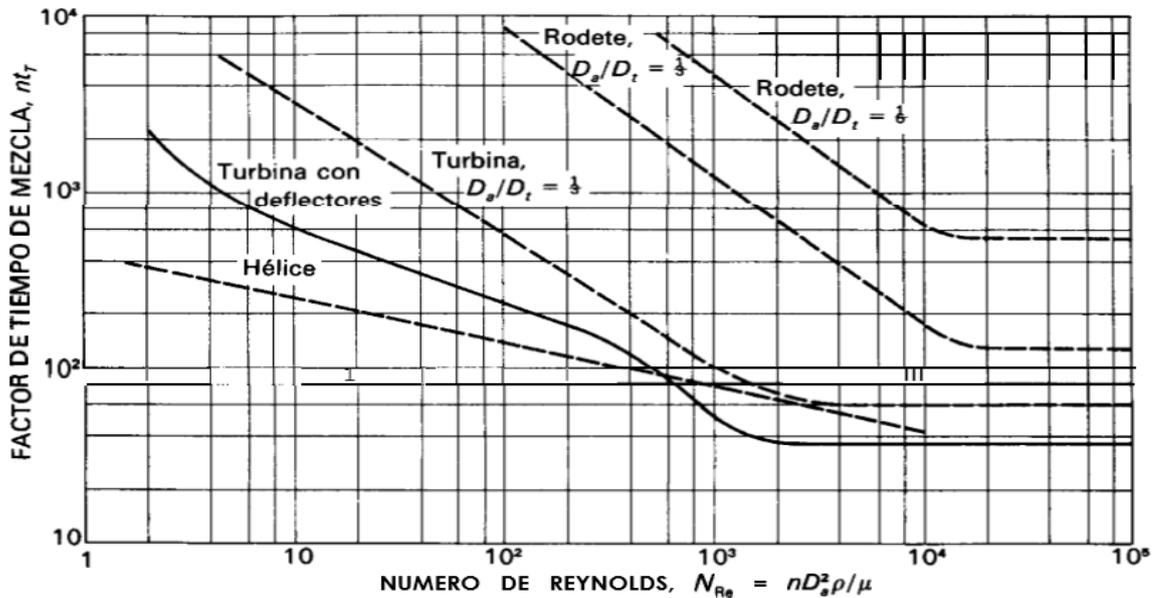


Gráfico 5. Tiempos de mezcla en tanques agitados. Las líneas de trazos son para tanques sin placas deflectoras; la línea continua es para un tanque con placas deflectoras.

De acuerdo al Número de Reynolds obtenido en la anterior sección, y con las condiciones de operación, el número de tiempo para una hélice de mezcla de 2 palas, interpolando en el gráfico el número de tiempo es igual a 300, y la relación de velocidad del líquido es igual a:

$$n = \frac{nrev_2}{nrev_1}$$

$$n = \frac{150}{120}$$

$$n = 1,25 \text{ rev}$$

El tiempo de mezcla es igual a:

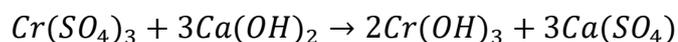
$$t_{mezcla} = \frac{t_T}{n}$$

$$t_{mezcla} = \frac{300}{1,25}$$

$$t_{mezcla} = 240 \text{ s}$$

Después de analizar las condiciones que deberán tener los dos tanques de agitado, se debe conocer la reacción química que se dará en los tanques de agitado, para

poder realizar cálculos de ingeniería que permitan determinar las corrientes de alimentación y de salida del fluido, por lo que la reacción química que se da dentro del tanque es:



De acuerdo con esto, en la sección anterior se procede a realizar una curva de equilibrio, para determinar la concentración ideal que se debe añadir de reactivo químico para determinar la cantidad de sustancia que se debe añadir para alcanzar el pH ideal, esto se muestra en el gráfico 5, debido a que la titulación constituyo un ácido débil con una base fuerte, se debieron realizar varias pruebas con diferentes volúmenes del ácido, y se siguió el procedimiento que se detalla a continuación para determinar la concentración ideal de los reactivos químicos para lograr una máxima mezcla y obtención de hidróxido de cromo, el proceso fue:

- Se calcula el pH inicial, tomando en cuenta que en solución se encontrara el reactivo de acuerdo a la forma:



Suponemos que:

$$[OH] \cong [Ca]$$

Sustituyendo en la ecuación de la constante de solubilidad se tiene:

$$\frac{[Ca][OH]^2}{[Ca(OH)_2]} = K_b$$

$$K_b = \frac{[OH]^3}{0,10}$$

De acuerdo a datos tabulados en tablas, el k_b para el hidróxido de calcio es igual a $3,7 \cdot 10^{-3}$, reemplazando en la ecuación se tiene:

$$\sqrt[3]{3,7 * 10^{-3} * 0.10} = [OH]$$

$$\begin{aligned}
 [OH] &= 0,071 \\
 p[OH] &= -\log_{10}(0,071) \\
 p[OH] &= 2,64 \\
 pH &= 14 - p[OH] \\
 pH &= 11,35
 \end{aligned}$$

Ahora se tiene cuatro aproximaciones, que se hacen basadas en el comportamiento de las sustancias en solución y son del orden:

$$\begin{aligned}
 [H][OH] &= K_w = 1 \cdot 10^{-14} \\
 \frac{[Ca][OH]^2}{[Ca(OH)_2]} &= K_b \quad (2) \\
 [H] + [Ca] &= [OH]^2 \quad (3) \\
 [Ca(OH)_2] + [Ca] &= 0,1 \quad (4)
 \end{aligned}$$

Puesto que la solución es acida se puede despreciar el término $[H]$ en la parte (3) de la ecuación y se tiene

$$[Ca] \cong [OH]^2$$

Y puesto que la adición de una base débil tendrá supremacía la adición de base, se desprecia en la solución, la ecuación (4) será igual a:

$$[Ca(OH)_2] \cong 0,1$$

Remplazando los valores obtenidos en la ecuación (2) se tiene:

$$\begin{aligned}
 \frac{[OH]^3}{0,1} &= 3,7 \cdot 10^{-3} \\
 [OH] &= \sqrt[3]{3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1} \\
 [OH] &= 0,071
 \end{aligned}$$

Remplazando este valor en la ecuación (1), se tiene:

$$\begin{aligned}
 [H] &= \frac{1 \cdot 10^{-14}}{0,071} \\
 [H] &= 1,39 \cdot 10^{-13}
 \end{aligned}$$

En el primer proceso se tiene que se adiciona a un volumen inicial de 20 l de solución se adiciona 1 litro de solución, por lo que en total se produce 0,1 moles de base, suponiendo que la reacción es completa, quedan 1,9 litros de solución y 0,1 de base, por lo tanto:

$$\frac{[1,9]}{[2,1]} - [Ca] = [Ca(OH)_2]$$

$$[Ca(OH)_2] \cong 0,90$$

$$\frac{0,1}{[2,1]} + [H] = [Ca]$$

$$[Ca] = 0,047$$

Sustituyendo en la ecuación para determinar la concentración de $[OH]$, será igual:

$$\frac{[Ca][OH]^2}{[Ca(OH)_2]} = K_b$$

$$\frac{[0,047][OH]^2}{[0,90]} = 3,7 \cdot 10^{-3}$$

$$[OH] = \sqrt[2]{\frac{3,7 \cdot 10^{-3} * 0,90}{0,047}}$$

$$[OH] = 0,26$$

$$pH = 14 - p[OH]$$

$$pH = 12,67$$

Ahora hacemos referencia a la reacción entre la base y la sal de cromo:

$$[Cr^{3+}] + 3[Ca^{2+}] = [(SO_4)^-]^3 + [OH^-]^2 \quad (1)$$

$$[Ca^{2+}] + [Ca(OH)_2] = \frac{20 \text{ mmol}}{21 \text{ l}} \quad (2)$$

$$[Cr^{+6}] = \frac{1 \text{ mmol}}{21 \text{ l}} \quad (3)$$

Dada que es una solución básica se anula la carga negativa del ion hidróxido por lo que la ecuación (1) va a ser igual a:

$$[Ca^{2+}] = 0,95 - 0,047$$

$$0,90 = [Ca^{2+}]$$

Sustituyendo en la ecuación de K_b

$$\frac{[Ca][OH]^2}{[Ca(OH)_2]} = K_b$$

$$\sqrt{\frac{3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95}{0,90}} = [OH]$$

$$[OH] = 0,062$$

Por lo que la concentración de iones hidrógenos va a ser igual a $1,61 \cdot 10^{-13}$

Ahora en el equilibrio se han añadido 20 litros de hidróxido de calcio y se han formado 1 mmol de ion cromo por lo que la concentración es igual a [0,047], el ion cromo es un ácido por lo que su reacción es igual a:



Reemplazando en la ecuación del K_a , se tiene que:

$$K_a = \frac{[OH][Ca^{2+}]^2}{[CaOH]^2}$$

$$\frac{3,7 \cdot 10^{-3} \cdot (0,14)^2}{(0,90)^2} = [OH]$$

$$[OH] = 8,40 \cdot 10^{-5}$$

$$p[OH] = -\ln(8,40 \cdot 10^{-5})$$

$$p[OH] = 9,38$$

$$pH = 14 - p[OH]$$

$$pH = 4,62$$

Una vez añadida 30 litros de la solución de hidróxido de calcio el proceso culminará, por lo cual en esta etapa el ion calcio aumentara hasta alcanzar valor igual a 1,20 N, y la concentración de hidróxido de calcio será igual a 0,14 N con estos datos se reemplaza de acuerdo a:

$$K_a = \frac{[OH][Ca^{2+}]^2}{[CaOH]^2}$$

$$\frac{3,7 \cdot 10^{-3} \cdot (0,14)^2}{(1,2)^2} = [OH]$$

$$[OH] = 5,1 \cdot 10^{-5}$$

$$p[OH] = -\ln(8,40 \cdot 10^{-5})$$

$$p[OH] = 9,90$$

$$pH = 14 - p[OH]$$

$$pH = 4,11$$

Con estos datos se pudo conocer la concentración óptima a la que se llevara al equilibrio de acuerdo con esto se debe añadir 20 litros de solución de hidróxido de calcio a un volumen de agua residual igual a 76 litros, de acuerdo con esto se produce la reacción en los dos tanques de mezclado, el fenómeno químico que ocurre en la reacción se muestra en el (gráfico 6).

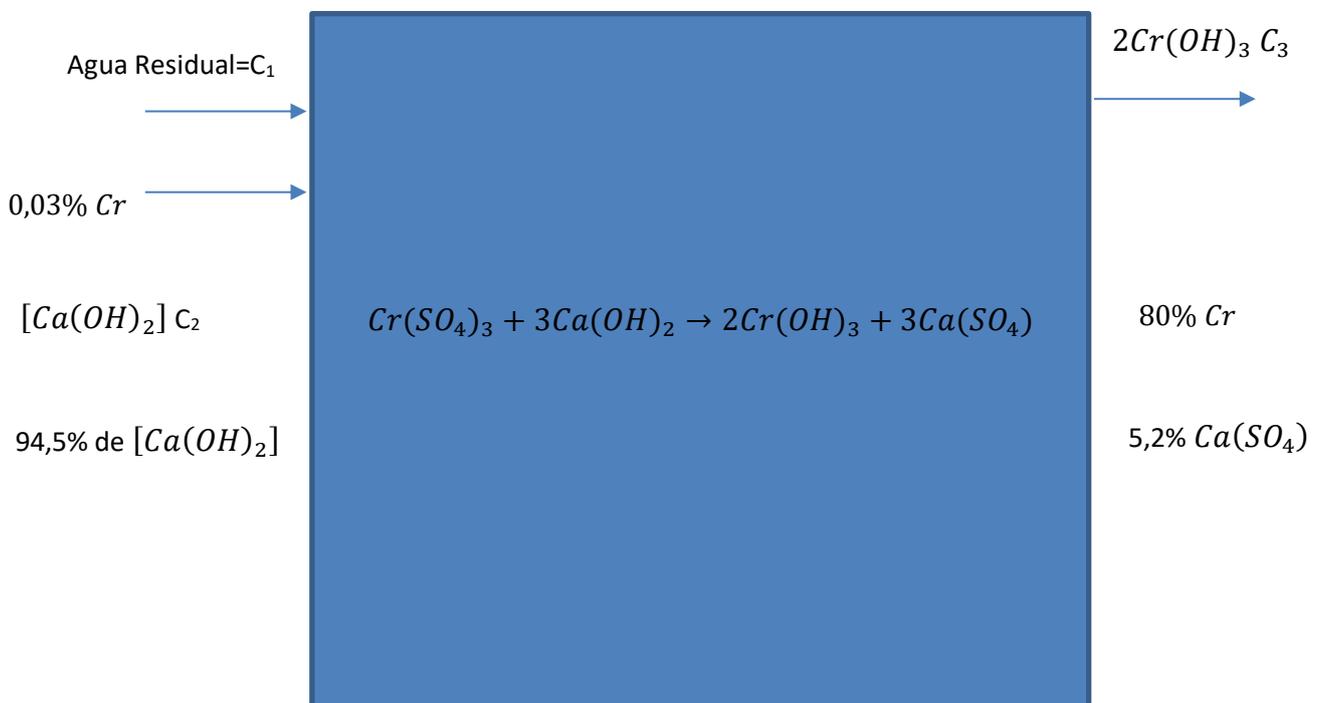


Gráfico 6. Diagrama de las reacciones químicas que ocurren en el proceso de mezclado

De acuerdo con estas reacciones químicas se realiza un balance de masa el cual es igual a:

$$\text{Entrada} + \text{Acumulaciòn} = \text{Salida} + \text{Residuo}$$

$$\text{Acumulaciòn} = \text{Entrada} + \text{Salida}$$

$$\frac{\partial V}{\partial T} = F_e(m, T) - F_s(m, T)$$

$$\frac{\partial M}{\partial T} - (m_f - m_i) = 0$$

$$(m_f - m_i) = Q(C_f - C_i)$$

Y la masa se puede expresar como:

$$\partial M = \int C_i dV$$

Por lo tanto:

$$\partial M = C_i \frac{dV}{dt} + V \frac{dC}{dt}$$

Remplazando en la ecuaciòn se tiene:

$$Q(C_f - C_i) + V \frac{dC}{dt} = 0$$

Considerando que la concentraciòn final del tanque es igual a la inicial la ecuaciòn queda de la siguiente forma:

$$Q(C_i) + V \frac{dC}{dt} = 0$$

$$\frac{dC}{C_i} = -\frac{Q}{V} dt$$

$$\int_{C_o}^{C_i} \frac{dC}{C_i} = \int_0^t -\frac{Q}{V} dt$$

$$\ln \frac{C_o}{C_i} = \frac{Q}{V} t$$

$$C_i = C_o \frac{Q}{V} t$$

Por lo cual para encontrar la concentración en el tanque del sulfato de aluminio en el equilibrio, se procede a calcular de acuerdo al modelo matemático obtenido anteriormente, con los datos obtenidos en la sección anterior:

$$C_i = 0,1 \frac{20}{78} (240)$$

$$C_i = 0,03 \cdot 10^{-3}$$

Para determinar las corrientes de salida, se debe identificar el reactivo limitante

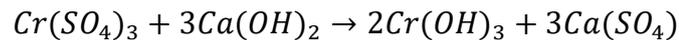
$$78 \text{ l agua residual} * \frac{1200 \text{ Kg Agua residual}}{1 \text{ lt de agua residual}} * \frac{0,03 \text{ Kg de Cr}}{100 \text{ kg de agua residual}} * \frac{1 \text{ mol}}{51,99 \text{ Kg}}$$

$$0,54 \text{ n Cr}$$

$$20 \text{ l Ca(OH)}_2 * \frac{2210 \text{ Kg Ca(OH)}_2}{\text{lt Ca(OH)}_2} * \frac{94,5 \text{ Kg de Ca(OH)}_2}{100 \text{ kg de Ca(OH)}_2} * \frac{1 \text{ mol}}{74 \text{ Kg}}$$

$$564,4 \text{ nCa(OH)}_2$$

De acuerdo con los datos obtenidos el reactivo limitante es el sulfato de cromo y es en el cual nos basaremos para los cálculos del balance de masa, con lo que igualamos estequiométricamente la ecuación y se tiene:



Por lo que partiendo de 0,54 n Cr, se calcula el peso del sulfato de cromo:

$$0,54 \text{ n Cr} * \frac{1 \text{ nCr(SO}_4)_3}{1 \text{ n Cr}}$$

$$0,54 \text{ n Cr(SO}_4)_3$$

Con lo que la entrada de hidróxido de calcio será:

$$0,54 \text{ n Cr(SO}_4)_3 * \frac{3\text{Ca(OH)}_2}{1 \text{ n Cr(SO}_4)_3}$$

$$1,62 \text{ n Ca(OH)}_2 * \frac{100 \text{ n Ca(OH)}_2}{98 \text{ n Ca(OH)}_2}$$

$$1,65 \text{ nCa(OH)}_2$$

Con estas corrientes de alimentación se procede al cálculo para el componente cromo para determinar cuánto de cromo se acumula en el reactor que determina la pérdida:

$$\begin{aligned}
 -\text{Entrada} + \text{Salida} &= \text{Acumulacion} \\
 -X_1C_1 + X_3C_3 &= \text{Acumulacion} \\
 0,0003(0,54) + (0,80)(1,08) &= \text{Acumulacion} \\
 1,70 &= \text{Acumulacion}
 \end{aligned}$$

Después se realiza un balance general para determinar la corriente de salida de cromo recuperado:

$$\begin{aligned}
 \text{Entrada} - \text{Acumulacion} &= \text{Salida} \\
 0,54 + 1,65 - 1,70 &= \text{Salida} \\
 0,49 &= \text{Salida}
 \end{aligned}$$

Después se calcula el rendimiento en la recuperación del cromo, debido a que en condiciones ideales se debe recuperar 1,6 moles de solución el rendimiento se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$\frac{\text{Cromo recuperado real}}{\text{Cromo recuperado ideal}} * 100 = \% \text{Rendimiento}$$

$$\frac{0,49}{1,6} * 100 = \text{Rendimiento}$$

$$\text{Rendimiento} = 30,63 \%$$

4. Diseño del sedimentador

Para el diseño de sedimentadores se realiza partiendo del concepto de la Ley de Stock que determina las diferentes fuerzas que intervienen en la sedimentación, sabiendo que la fuerza que determina el impulso de sedimentación es igual a:

$$F_i = F_g - F_b$$

$$F_i = \rho_s gV - \rho gV$$

$$F_i = (\rho_s - \rho)gV \quad \text{Ec. 1}$$

Después se entiende que al caer las partículas se genera fuerza de rozamiento con el líquido la cual se puede expresar de acuerdo a la ecuación:

$$F_r = \frac{1}{2} \rho C_d A V_s^2$$

Donde:

F_r : Fuerza de fricción

C_d : Coeficiente de fricción

A : Área transversal de la partícula

V_s : Velocidad de sedimentación

Al momento en que las partículas adquieren una fuerza de rozamiento igual a la fuerza impulsora, será el motor de la sedimentación, por lo cual para que se produzca este fenómeno se tiene:

$$F_i = F_r$$

$$\frac{1}{2} C_d \rho A V_s^2 = (\rho_s - \rho)gV$$

Se despeja la velocidad de sedimentación:

$$V_s = \sqrt{\frac{2(\rho_s - \rho)gV}{C_d \rho A}}$$

En el caso de las partículas que al sedimentar formen partículas esféricas:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$V = \frac{\pi D^3}{6}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{2(\rho_s - \rho)g \frac{\pi D^3}{6}}{C_d \rho \frac{\pi D^2}{4}}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4(\rho_s - \rho)gD}{3 C_d \rho}}$$

Con esto se determina el coeficiente de rozamiento para lo cual se dispone de la siguiente ecuación:

$$C_d = \frac{24}{R}$$

Donde R es el número de Reynolds que viene determinado por:

$$R = \frac{V_s \rho}{\mu}$$

Por lo que C_d será igual a:

$$C_d = \frac{24}{V_s \rho}$$

Despejando en la ecuación:

$$V_s = \sqrt{\frac{4(\rho_s - \rho)gD}{3 \frac{24}{V_s \rho} \rho}}$$

$$V_s = \frac{g * (\rho_s - \rho) * D^2}{18\rho\mu}$$

$$V_s = \frac{9,8 * (1200 - 1000) * (1,2 * 10^{-1})^2}{18(1200)(0,0012)}$$

$$V_s = 1,10 \frac{m}{s}$$

Con esta velocidad se realizara todos los cálculos para las partes del sedimentador, mismo que consta de tres partes: zona de sedimentación que es la base del equipo,

la zona de lodos en donde se recogerán las sustancias solidas formadas en la reacción y la zona de salida en donde se recogerá el sulfato de cromo recuperado.

a. Zona de sedimentación

Primero hay que conocer el tiempo que se demoran las partículas en la sedimentación luego de la reacción obtenida, la cual se calcula de acuerdo ha:

$$t_d = \frac{V}{Q}$$

Donde el caudal será igual a:

$$Q = 1,84 \cdot l \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

Donde

H: altura que alcanzara el líquido, m

L: Ancho del vertedero, m

$$Q = 1,84 * (0,20) * (1,2)^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,48 \frac{m^3}{h}$$

Después se calcula el área del sedimentador que es igual a:

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

$$A_s = \frac{0,48}{1,10}$$

$$A_s = 0,44 m^2$$

Por lo que el volumen del sedimentador es igual a:

$$V = A_s * h$$

$$V = 0,44 * 1,2$$

$$V = 0,53 m^3$$

Con lo que despejamos el tiempo de sedimentación:

$$t_d = \frac{0,53}{0,48}$$

$$t_d = 1,1 \text{ h}$$

Ahora se calcula la velocidad horizontal que tendrá el fluido cuando este circulando por el sedimentador el cual será igual a:

$$V_h = \frac{100 * Q}{B * H}$$

Donde

B: ancho del sedimentador que se calcula mediante la fórmula:

: $B = \frac{A_s}{L}$, Reemplazando los datos se obtiene un valor de 2,2 m

$$V_h = \frac{100 * (0,48)}{(2,2) * (1,2)}$$

$$V_h = 18,18 \frac{m}{h}$$

Ahora se calcula el tiempo de retención que tendrá que estar el líquido para que se realice el sedimentado total de acuerdo a la ecuación:

$$T_0 = \frac{A_s * H}{3600 * Q}$$

$$T_0 = \frac{0,44 * 1,2}{3600 * 0,48}$$

$$T_0 = 3,05 * 10^{-4} \text{ h}$$

Además que para que el diseño este completo se debe seleccionar el número de orificios que tendrá el equipo, de acuerdo a la ecuación:

$$A_o = \frac{Q}{v_o}$$

Escogiendo v_o igual a $0,1 \frac{m}{s}$, reemplazando en la ecuación se tiene

$$A_o = \frac{0,48}{0,1}$$

$$A_o = 4,8 \text{ m}^2$$

Después se selecciona un diámetro de orificio, el cual por concepto de costos debe ser igual a 0,75 m, con lo que se calcula el área de cada orificio de acuerdo a la ecuación:

$$a_o = \pi D^2$$

$$a_o = \pi(0,75)^2$$

$$a_o = 1,76 \text{ m}^2$$

De acuerdo con esto el número de orificio será igual a:

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

$$n = \frac{4,78}{1,78}$$

$$n = 2,68$$

Se deben colocar tres agujeros a lo largo de la placa del sedimentador para que el líquido drene.

B. EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIAS FÍSICAS DEL CUERO CAPRINO CURTIDO EN FORMA CONVENCIONAL Y CON CROMO RECUPERADO EN EL PROTOTIPO MECÁNICO

1. Resistencia a la tensión

Las medias de resistencia a la tensión para el primer tratamiento (método tradicional) reportaron valores iguales a 2014,10 N/cm² con un error estadístico igual a ±88,90 N/cm² y la desviación igual a 177,80, mientras que para el segundo

tratamiento (cromo recuperado) las medias reportadas fueron iguales a 2642,02 N/cm² con un error estadístico igual a $\pm 210,40$ N/cm² y desviación estándar igual a 420,81 como se indica en el cuadro 6, y se ilustra en el (gráfico 7).

De acuerdo a los resultados expuestos de la resistencia a la tensión de los cueros curtidos con cromo tanto completo como reutilizado se determinó que las respuestas fueron mayores cuando se utilizó el cromo recuperado en comparación con el método tradicional, esto se debe a que al existir mayor disponibilidad de cromo así como también al alcanzar una mayor pureza en el cromo recuperado se mejoran las condiciones normales que el cromo le otorga a las pieles, sin embargo tiene un gran problema de contaminación ambiental que es objeto de seguimiento por parte de los organismos reguladores del ambiente.

Una vez realizado el proceso de recuperación del cromo, para validar el prototipo mecánico se demostró la calidad del proceso de recuperación del cromo con la técnica de curtición y la comparación con la calidad obtenida en cueros curtidos por el método tradicional con sulfato de cromo, después de curtido hay que evaluar las características de las pieles para determinar su calidad, para esto se aplica pruebas físicas y sensoriales que son normadas a nivel nacional e internacional mediante técnicas estandarizadas, lo cual permite corregir errores en los procesos de curtición además de evaluar la calidad de la materia prima y de las sustancias químicas utilizadas en la transformación, esta calidad viene asociada principalmente al estado de curtición, ya que en este proceso se da la transformación de las fibras de colágeno, en la evaluación de diferentes agentes curtientes el cromo es el que tomo mayor importancia a lo largo de los años es por eso que hasta en la actualidad es el curtiente mayormente utilizado a nivel industrial, tiene la característica de elevada astringencia indicativo de esto es la alta transformación de las fibras de colágeno, esto ocasiona que las características físicas de las pieles curtidas al cromo sean elevadas y esa es la razón por la preferencia en las curtimbres del cromo.

Cuadro 5. EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIAS FÍSICAS DEL CUERO OVINO CURTIDO EN FORMA CONVENCIONAL Y CON CROMO RECUPERADO EN EL PROTOTIPO MECÁNICO

| ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS | RESISTENCIAS FÍSICAS DEL CUERO OVINO | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------|------------|
| | Resistencia a la Tensión | | Porcentaje de Elongación | | Lastometría | |
| | Convencional | Recuperado | Convencional | Recuperado | Convencional | Recuperado |
| Media | 2014,10 | 2642,02 | 111,25 | 58,75 | 11,03 | 10,78 |
| Error típico | 88,90 | 210,40 | 2,39 | 2,98 | 0,55 | 0,07 |
| Mediana | 1960,94 | 2576,92 | 112,50 | 56,25 | 11,36 | 10,71 |
| Moda | #N/A | #N/A | 115,00 | 55,00 | #N/A | 10,71 |
| Desviación estándar | 177,80 | 420,81 | 4,79 | 5,95 | 1,10 | 0,15 |
| Varianza de la muestra | 31611,18 | 177078,79 | 22,92 | 35,42 | 1,22 | 0,02 |
| Curtosis | 2,15 | 1,32 | -1,29 | 3,13 | 1,28 | 4,00 |
| Coefficiente de asimetría | 1,46 | 0,86 | -0,85 | 1,78 | -1,33 | 2,00 |
| Rango | 401,19 | 1002,45 | 10,00 | 12,50 | 2,43 | 0,29 |
| Mínimo | 1866,67 | 2205,88 | 105,00 | 55,00 | 9,48 | 10,71 |
| Máximo | 2267,86 | 3208,33 | 115,00 | 67,50 | 11,91 | 11,00 |
| Suma | 8056,40 | 10568,06 | 445,00 | 235,00 | 44,10 | 43,12 |
| Cuenta | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 |
| T student | 0,02 | * | 0,00 | ** | 0,34 | ns |

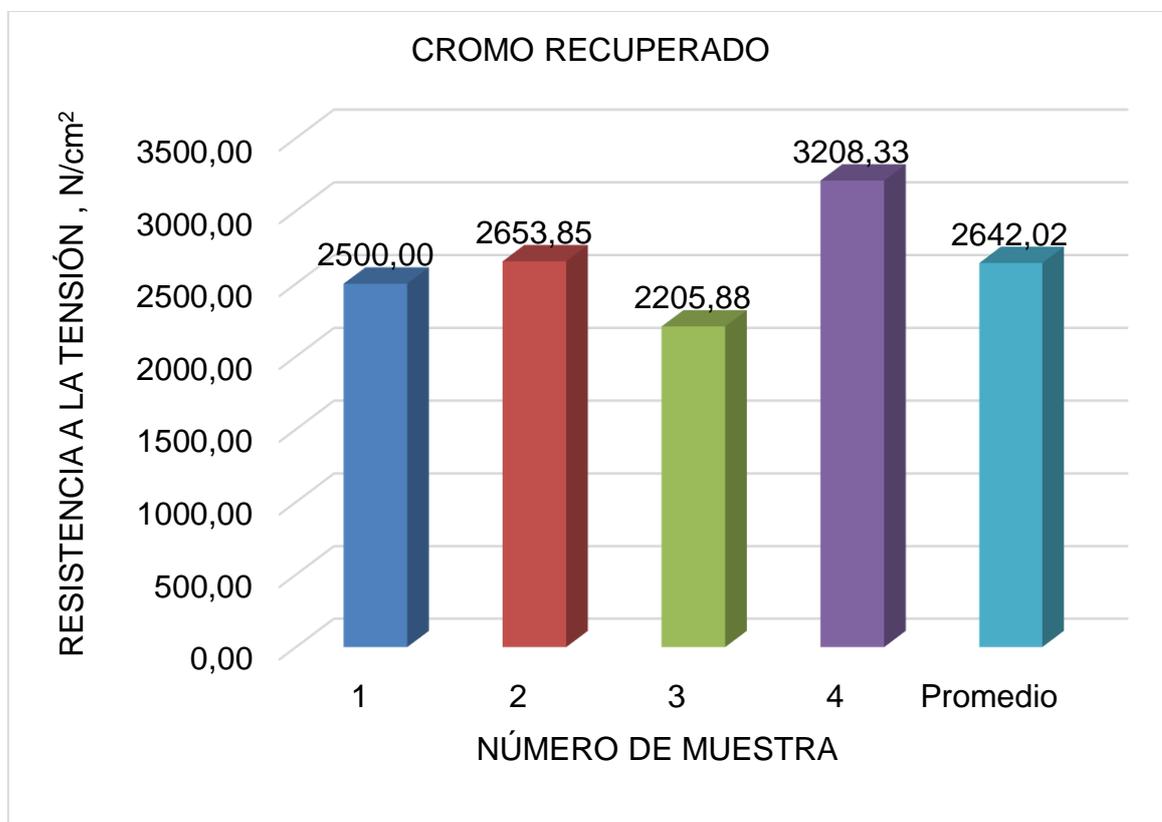
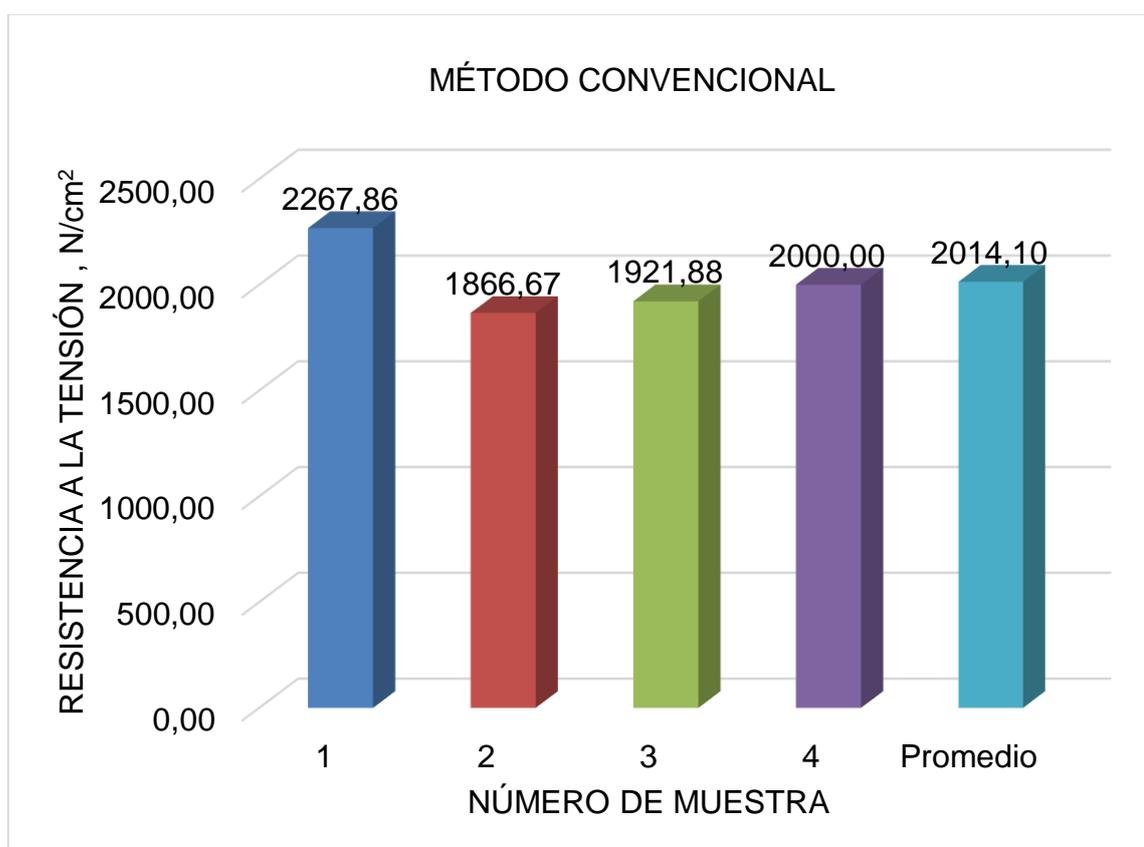


Gráfico 7. Evaluación de la resistencia a la tensión del cuero ovino curtido en forma convencional y con cromo recuperado en el prototipo mecánico

Los resultados obtenidos son contrastados con lo que indica Leonard, N. (2008), quien menciona que la finalidad de la curtición es estabilizar la proteína frente a la descomposición bacteriana y a los agentes externos, mediante la reacción de productos poli funcionales de peso molecular medio. Se utilizan productos polifuncionales por su capacidad de reaccionar con más de una molécula de colágeno. El objetivo secundario de la curtición al cromo es conferir una serie de propiedades a la piel como son: plenitud, tacto, elasticidad, finura de flor, etc. Los productos que se utilizan para la curtición son básicamente dos, el aluminio y el cromo, aunque hay otros que también tienen la facultad de curtir. Se utilizan mayoritariamente estos dos porque son más baratos, más fáciles de utilizar y pueden llegar a formar enlaces estables con los grupos $-COOH$ de las fibras del cuero. La calidad de las sustancias químicas afectan directamente a la calidad final de los productos terminados, en el análisis del cromo recuperado se puede evidenciar que la pureza obtenida es elevada con lo cual se puede mejorar las respuestas a una curtición con sulfato de aluminio comercial, ya que muchas veces las casas comerciales reducen la calidad de las sustancias químicas, ya que mezclan el sulfato de cromo con otras sustancias que alteran su composición final y sus características, mientras que en el proceso de recuperación de cromo se controló las condiciones que pudieran causar anomalías en la obtención del sulfato de cromo, esto dará como resultado el aumento de la pureza del elemento y además de que se ajustara a las condiciones normales de curtición.

Posterior a la comparación de los dos tratamientos es fundamental contrastar con las normas internacionales vigentes que para la presente prueba la referencia es la norma IUP 6 (2002), que reporta que para cumplir el parámetro mínimo de calidad las pieles deben tener medias iguales a 1500 N/cm^2 ; respuestas que se cumplen en los dos tratamientos además comparando las medias con las que reporta Pilataxi, C. (2017), que obtuvo resultados de $1217,95 \text{ N/cm}^2$; cuando realizó la curtición con 7 % de sulfato de aluminio en pieles bovinas y Chasiquisa, A. (2014), reporto medias iguales a $352,06 \text{ N/cm}^2$ cuando curtió las pieles con 5 % de sulfato de cromo, medias que son menores a las reportadas en la presente investigación y denotan la calidad de la recuperación del cromo y su alta pureza que permite la transformación de las fibras de colágeno.

2. Porcentaje de elongación

Los valores medios reportados del porcentaje de elongación de las pieles ovinas curtidas con cromo recuperado versus pieles curtidas con sulfato de cromo comercial, no determinaron diferencias estadísticas entre medias, observándose que para el primer tratamiento (cromo recuperado) se obtuvieron promedios de 58,75 %; con un error típico de $\pm 2,98$ y desviación estándar de 5,95; mientras tanto que para el segundo tratamiento (cromo reutilizado), las medias obtenidas fueron de 111,25 % con un error aleatorio de $\pm 2,39$ % y una desviación estándar de 4,79, como se ilustra en el gráfico 8. Es decir que la opción adecuada para curtir pieles ovinas es la curtición con cromo total sin embargo existe el gran inconveniente ambiental ya que los baños residuales son sumamente contaminantes.

Lo que es corroborado con lo que indica Vallejo, R. (2004), quien menciona que la curtición es una reacción de equilibrio químico entre la piel y el cromo, y por ello, a mayor concentración, más tendencia habrá a desplazarse este equilibrio hacia la fijación de cromo en la piel siempre y cuando estén en proporción normal (6-8 % de sal de cromo: 60-80 % de agua). Pero cuando la concentración es muy alta (curtición en seco) no hay suficiente dilución para que el sulfato de cromo se pueda desenmascarar bien, y por lo tanto disminuye su reactividad anulando y venciendo fácilmente la tendencia anterior. El cromo tiene poca afinidad y penetra fácilmente por difusión gracias al efecto mecánico.

Además Huamaní, G. (2011), indica que el principal problema que se presenta cuando se aumenta la concentración del cromo, es que se puede producir una sobre-curtición que se da por efecto de la alta astringencia y su alta afinidad con el colágeno; esto ocurre que al mínimo contacto se curta en exceso y ocasione un hinchamiento excesivo lo cual no es recomendable para la prueba física de porcentaje de elongación, ya que existirá un espacio reducido entre las fibras y al generarse la fuerza de estiramiento no se podrán deformar las pieles ocasionando que se produzca la ruptura y bajos índices de elongación, por lo cual se debe ajustar la concentración de sulfato de cromo que se añada a la curtición, esto dado que disminuye el porcentaje de elongación la excesiva concentración del cromo.

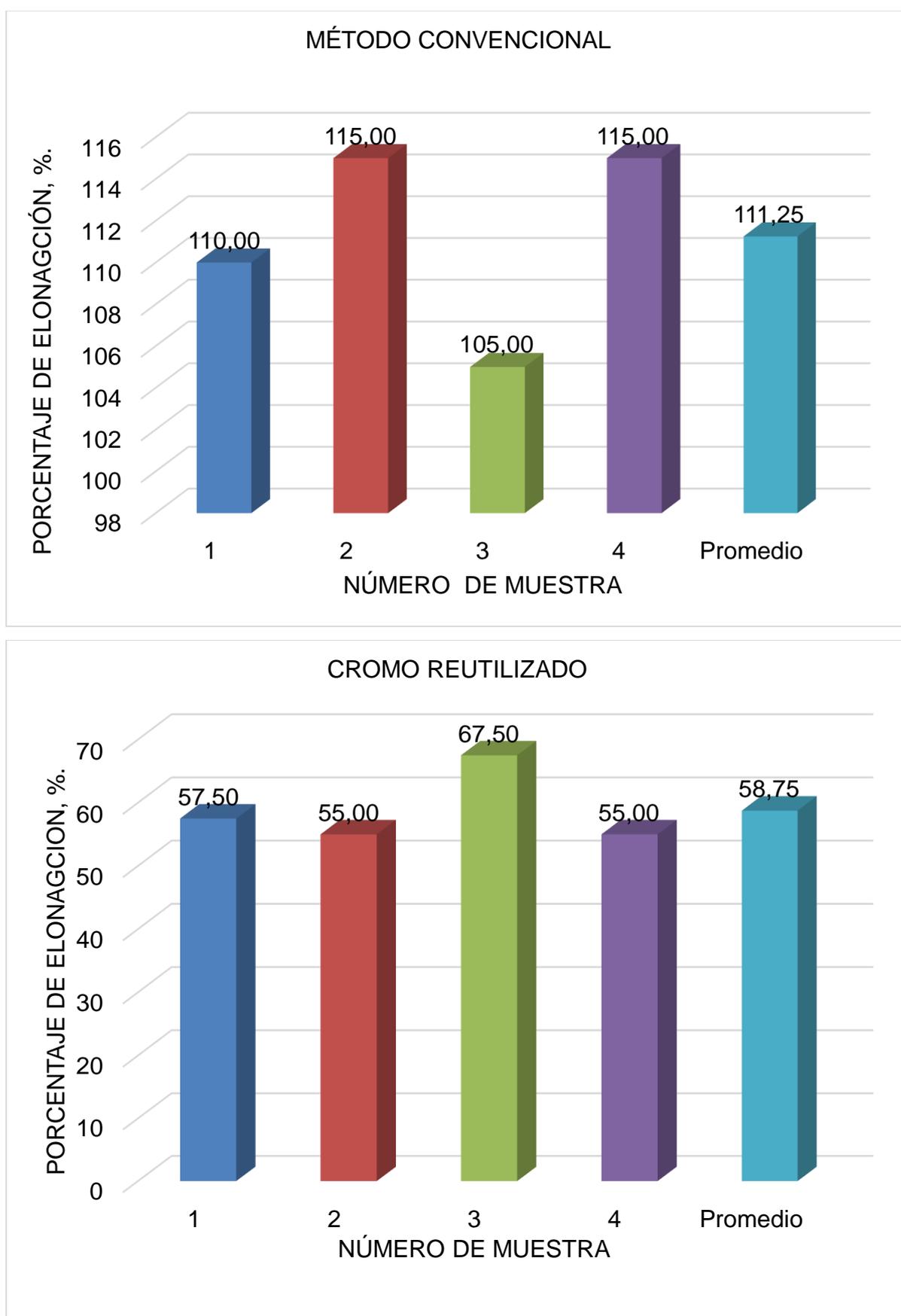


Gráfico 8. Evaluación del porcentaje de elongación del cuero ovino curtido en forma convencional y con cromo recuperado en el prototipo mecánica.

Según la norma para la presente prueba (IUP 6) indica que el parámetro mínimo que deben cumplir los cueros es de 40 80 % de elongación, los dos tratamientos cumplen este parámetro, lo cual indica la calidad de las pieles; además de que comparados los datos con los que reporta Pilataxi, C. (2017); quien reporto valores de 81,07 % cuando curtió las pieles ovinas con el 9% de sulfato de aluminio y Chasiquisa, A. (2014), reporto medias iguales a 72,82 % cuando realizo la curtición las pieles ovinas con el 5 % de sulfato de cromo, respuestas que son superiores al tratamiento de cromo recuperado de la presente investigación y esto debido a que la concentración de cromo recuperado n es la correcta, por lo que para futuras practicas se debe mezclar el cromo recuperado para evitar el fenómeno de sobre-curtición.

3. Lastometría

Los valores medios de la lastometría de los cueros ovinos no reportaron diferencias estadísticas por efecto de la comparación del curtido tradicional (T1), con un proceso de curtido con cromo reutilizado (T2), estableciéndose que para el primer tratamiento (T1), las medias reportadas fueron de 11,03 mm, con un error estadístico de $\pm 0,55$ mm, y una desviación estándar de 1,10, mientras que para el segundo tratamiento (T2), las medidas reportadas fueron de 10,78 mm, con un error aleatorio de $\pm 0,07$ mm, y una desviación estándar de 0,15 como se ilustra en el gráfico 9. De los resultados expuesto se determinó que la diferencia entre los tratamientos es mínima y está dentro del rango aceptable de desviación, es decir los resultados son similares en los tratamientos esto como indicativo de la calidad de los procesos de recuperación del cromo en el prototipo mecánico, además de que la variación se debe a calidad de materia prima y de transformación.

Lo que es corroborado con lo que indica Aguirre, A. (2002), quien menciona que en la curtición se aumenta la temperatura de contracción de la piel, para que soporte las sucesivas operaciones de tintura y engrase, que generalmente se realizan a altas temperaturas. El cuero curtido al cromo húmedo resiste bien temperaturas de 100 °C, y una vez seco aguanta el vulcanizado (para la fabricación de zapatos) que es de unos 120 °C.

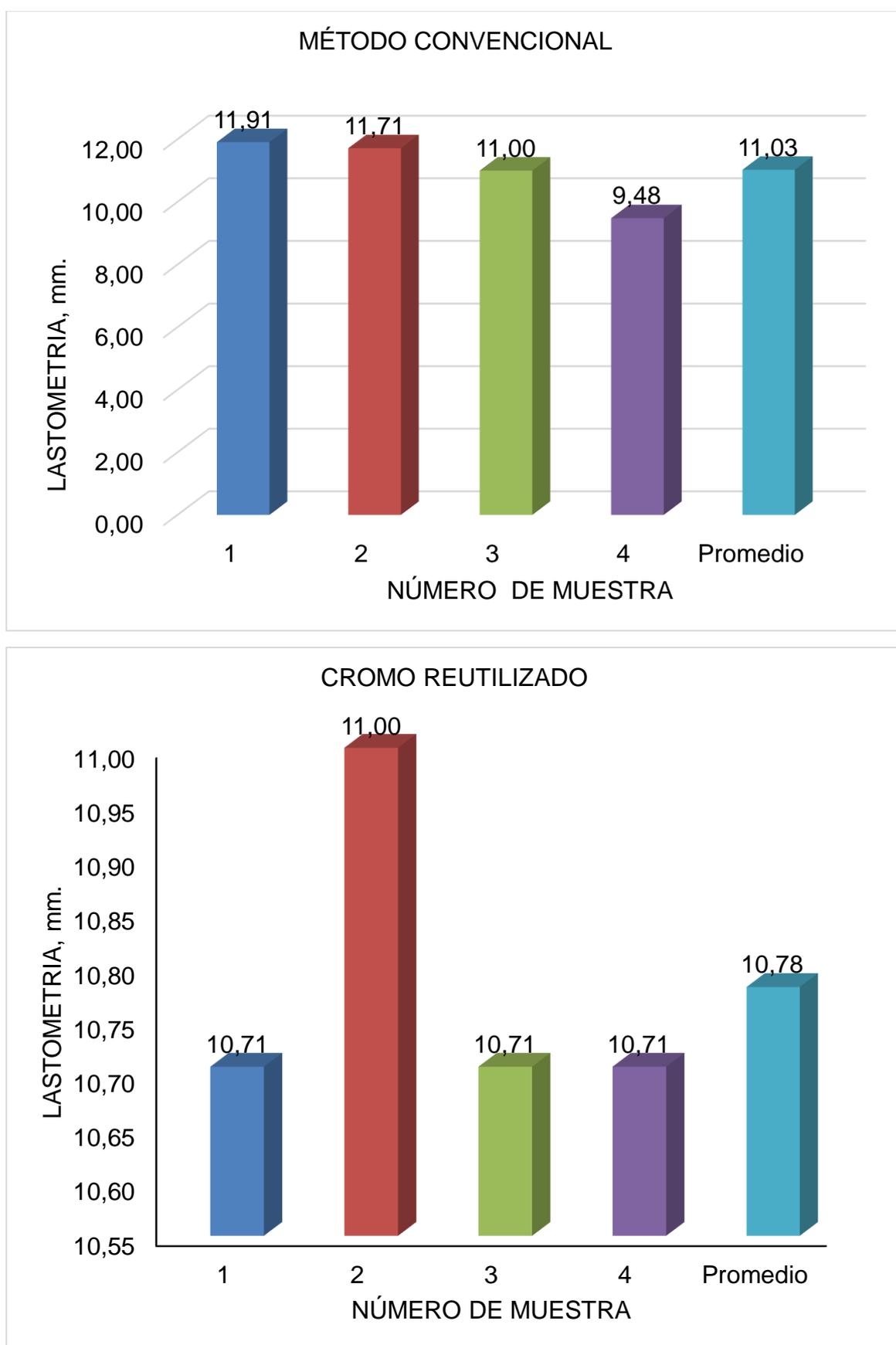


Gráfico 9. Evaluación de la lastometría del cuero ovino curtido en forma convencional y con cromo recuperado en el prototipo mecánica.

Además Hidalgo, L. (2004), indica que la piel curtida al cromo seca posee en su interior un gran número de espacios vacíos en forma de canales microscópicos localizados entre las fibras curtidas. Estos poros permiten que los cuerpos gaseosos tales como el aire y el vapor de agua puedan pasar a su través con relativa facilidad, es lo que se denomina permeabilidad a los gases y al vapor de agua. El cromo tiene la característica de aumentar las resistencias físicas del cuero por lo cual es el curtiente más utilizado en la actualidad, el problema está relacionado al daño ambiental que producen lo cual ocasiona que se busquen alternativas para remplazar al cromo, por lo que recuperar el agente curtiente generara un beneficio al ambiente ya que se producirá un alto agotamiento del curtiente y no existirá la presencia en el agua residual de este elemento lo cual hace una tecnología viable para la curtición. Al realizar la comparación de los datos obtenidos en la presente investigación con los que reporta Pilamunga, I. (2017) quien registró medias de 8,34 mm, cuando curtió las pieles ovinas con 16 % de tara, además comparando los resultados obtenidos con la normativa vigente IUF 450 (2002) que determina valores mínimos para la lastometría de 7,5 mm respuestas que están siendo superadas por los dos tratamientos en la presente investigación y demuestran la calidad de los cueros.

C. EVALUACIÓN DE LAS CALIFICACIONES SENSORIALES DEL CUERO OVINO CURTIDO CON CROMO TOTAL Y CON RECIRCULACIÓN DE CROMO

1. Blandura

La estadística descriptiva de la blandura del cuero ovino, determinó una media de 4,75 puntos al utilizar cromo total en comparación de la calificación de 4 puntos que se registró al curtir con cromo reutilizado, sin embargo en los dos casos en mención se mantiene una calificación de excelente de acuerdo a la escala propuesta por Hidalgo, L. (2017), además se aprecia un error típico de 0,25 y 0,41 para los tratamientos T1 (convencional) y T2 (reutilizado), respectivamente y una mediana y moda de 5 y 4 puntos en su orden, con valores superiores de 5 para el tratamiento T1 como se ilustra en el (gráfico 10).

Cuadro 6. EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIAS FÍSICAS DEL CUERO OVINO CURTIDO EN FORMA CONVENCIONAL Y CON CROMO RECUPERADO EN EL PROTOTIPO MECÁNICO

| | Blandura | | Llenura | | Tamaño grano | |
|---------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | Convencional | Reutilizado | Convencional | Reutilizado | Convencional | Reutilizado |
| Media | 4,75 | 4,00 | 4,00 | 3,50 | 4,25 | 4,00 |
| Error típico | 0,25 | 0,41 | 0,41 | 0,29 | 0,48 | 0,41 |
| Mediana | 5,00 | 4,00 | 4,00 | 3,50 | 4,50 | 4,00 |
| Moda | 5,00 | 4,00 | 4,00 | 3,00 | 5,00 | 4,00 |
| Desviación estándar | 0,50 | 0,82 | 0,82 | 0,58 | 0,96 | 0,82 |
| Varianza de la muestra | 0,25 | 0,67 | 0,67 | 0,33 | 0,92 | 0,67 |
| Curtosis | 4,00 | 1,50 | 1,50 | -6,00 | -1,29 | 1,50 |
| Coefficiente de asimetría | -2,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,85 | 0,00 |
| Rango | 1,00 | 2,00 | 2,00 | 1,00 | 2,00 | 2,00 |
| Mínimo | 4,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Máximo | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 4,00 | 5,00 | 5,00 |
| Suma | 19,00 | 16,00 | 16,00 | 14,00 | 17,00 | 16,00 |
| Cuenta | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 |
| T-student | 0,08 | ns | 0,18 | ns | 0,35 | ns |

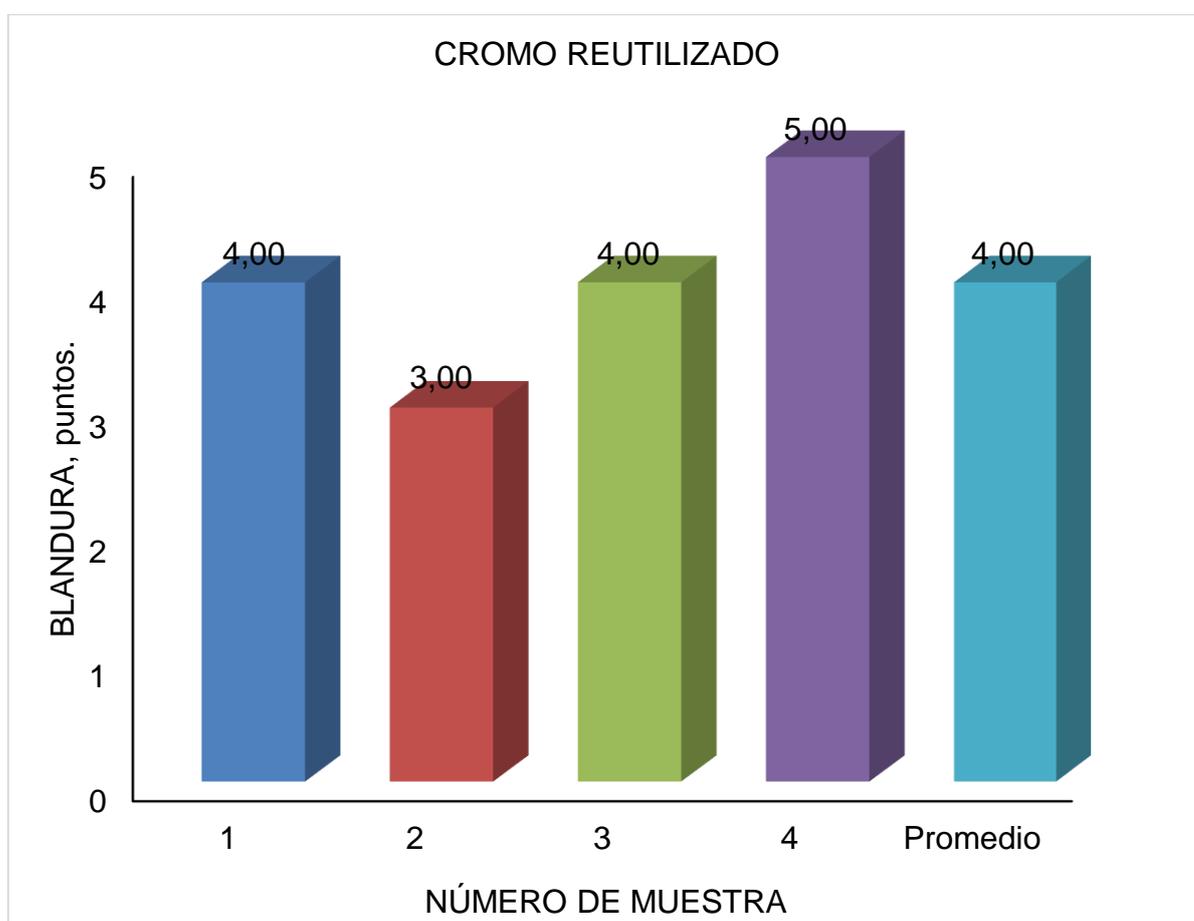
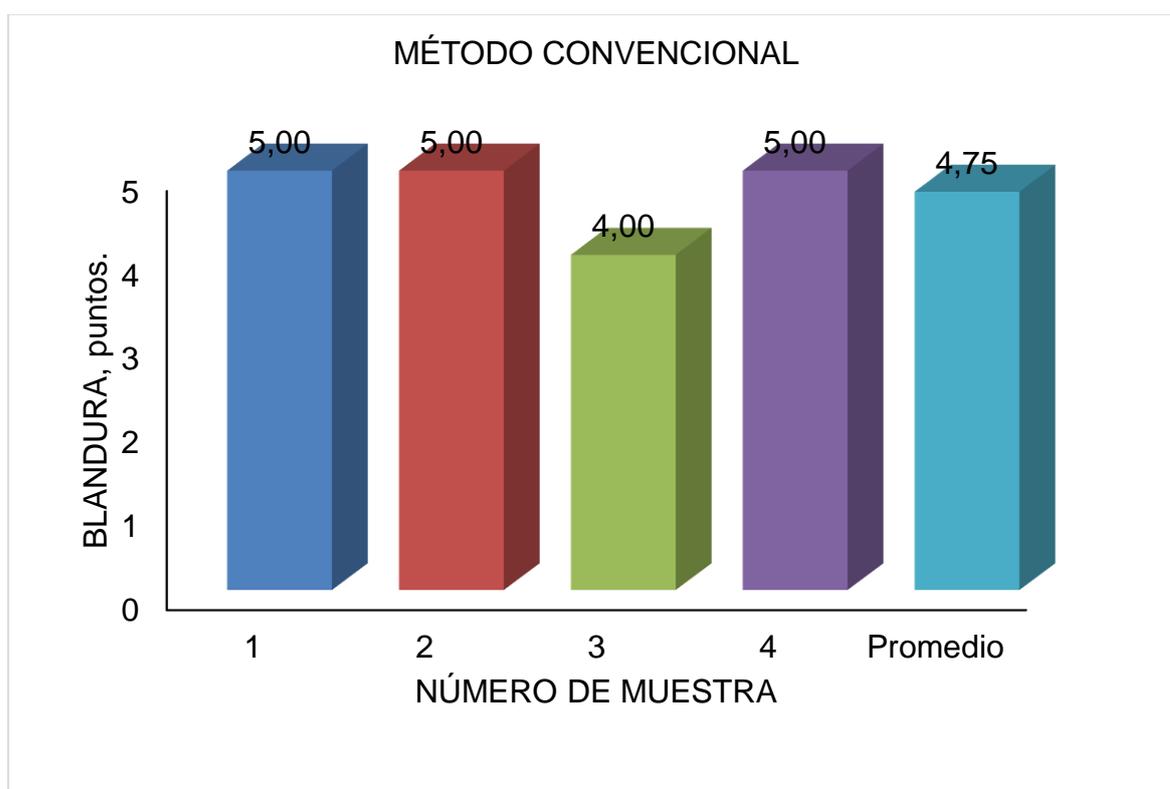


Gráfico 10. Blandura del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.

Del análisis sensorial descrito se aprecia que la calidad del cuero en lo que tiene que ver con la llenura no sufre cambios significativos, lo que es corroborado con lo que menciona Hidalgo, L. (2004), quien manifiesta. El sector de curtidos si no existiera habría que inventarlo, ya que recoge parte de los subproductos generados como consecuencia del sacrificio de animales cuyo objeto es suministro para la industria de alimentación. La industria de curtidos elimina un problema a la sociedad y a su vez genera una gran riqueza a la misma.

Además Soler, J. (2004), manifiesta que una curtiembre por un lado, da utilidad a un subproducto de la industria cárnica que de otra forma debería incinerarse o eliminarse en vertederos, y por otro, crea una riqueza económica con la cadena de valor que inicia y fundamentalmente con la cantidad de puestos de trabajo que genera. Por otro lado, la sustitución del cuero por materiales de origen sintético significaría retroceder en la cultura de la sustentabilidad. El cuero es un recurso renovable, en contraste con los materiales y fibras de origen petroquímico que se postulan como alternativas. Las sales de cromo trivalente (III), son el producto más ampliamente utilizado como curtiente. Cerca del 90 % de la producción europea de piel y cuero las utiliza. Durante años se han investigado y propuesto muchos procedimientos alternativos pero no es factible sustituir una proporción substancial del proceso de curtición al cromo por otras alternativas como la curtición vegetal o wet-white. al referirnos al concepto de calidad una de las variables muy importantes es la blandura, debido a que puede ser la primera sensación percibida en el momento de escoger un material y a su vez la que mayor causa de rechazo proporciona al cuero y tiene vinculación directa con la calidad del curtiente que al ingresar en forma correcta en el tejido interfibrilar forma un complejo uniforme de manera que las fibras se deslicen fácilmente y con ello se presente una blandura y caída ideal para la confección de los artículos más exigentes en el mercado como son una prenda de vestir, un calzado especialmente de dama, pero siempre manteniendo la idea de un cuero ecológico es decir aquella materia prima que en su elaboración se utilice un alto agotamiento del baño de curtido que desprende cantidades elevadas de cromo que perjudican tanto a los componentes bióticos como abióticos del ecosistema.

2. Llenura

La evaluación estadística de la llenura de las pieles ovinas, no reportó diferencias significativas según la prueba T-student, sin embargo al utilizar el método convencional (T1); se estableció, un valor promedio de 4 puntos y calificación excelente de acuerdo a la escala propuesta por Hidalgo, L. (2017), en comparación de los resultados reportados al utilizar el cromo reutilizado (T2), ya que las medias fueron de 3,50 puntos y condición muy buena según la mencionada escala, el error típico es relativamente bajo así como la desviación estándar en los dos casos mencionados y que correspondieron a valores de 0,41 y 0,20 y de 0,67 y 0,33, respectivamente, mientras que la mediana y moda fueron de 4 puntos en el caso de los cueros ovinos curtidos en forma tradicional versus las respuestas de 4 y 3 puntos alcanzadas en el lote de cueros del tratamiento T2, como se ilustra en el gráfico 11.

Es decir que al utilizar la curtición con cromo trivalente se consigue la introducción de la molécula del curtiente en el entretejido fibrilar para que no se presenten espacios vacíos que puedan ocasionar cueros con efecto traposo. Es decir que los resultados más adecuados se consiguen al trabajar con el sistema tradicional es decir con cromo comercial trivalente, sin embargo los resultados al utilizar el cromo que se obtiene en el prototipo mecánico, los resultados no son significativos validando el uso del equipo, debido a que el efecto curtiente del cromo reutilizado presente el mismo poder curtiente pero con la ventaja que es menos contaminante

Lo que puede ser corroborado con las apreciaciones de Soler, (2005), quien indica que el objetivo de utilizar el cromo reutilizado es la prevención de la formación de cromo hexavalente por la mejora de los procesos de tenería, La industria del curtido de pieles ha sido siempre considerada como una actividad sucia y contaminante, principalmente por los vertidos de aguas que conlleva y que, históricamente, han acabado en los cauces de los ríos. Por el contrario, en los últimos diez o veinte años, la aplicación de tecnologías limpias y sistemas de recuperación y reciclaje de subproductos está cambiando tanto la imagen como la realidad.

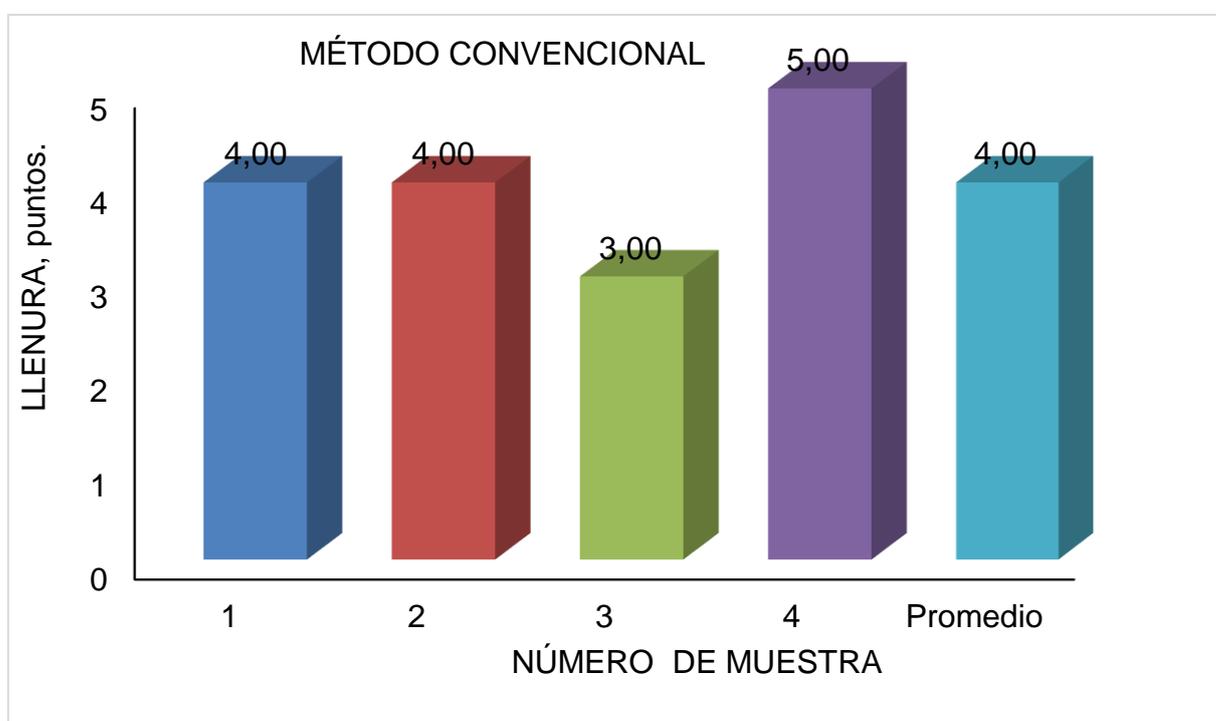
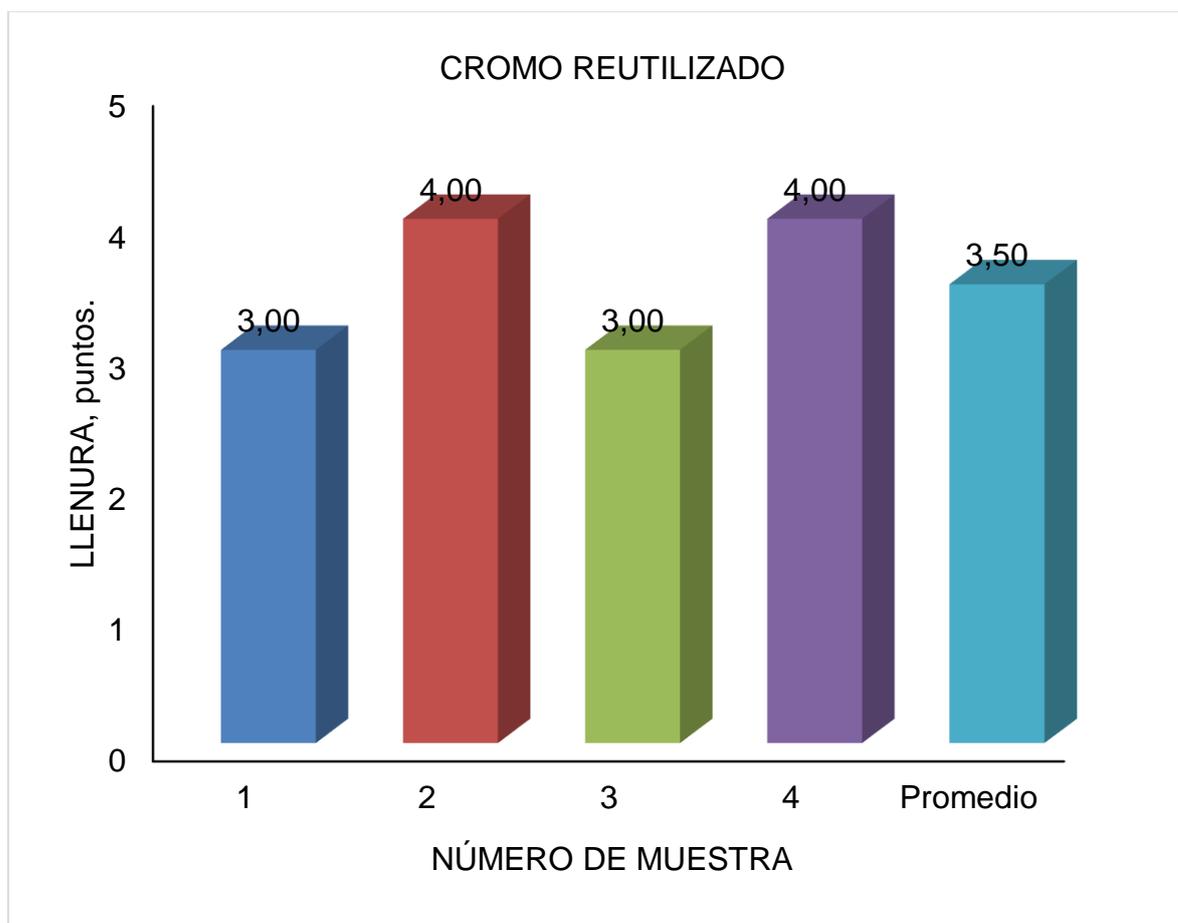


Gráfico 11. Llenura del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.

Además Bacardit, A. (2005), manifiesta que el agotamiento del cromo es muy pobre, de tal modo, que el cromo no fijado se elimina como tóxico en el efluente. Una de las opciones de proceso más limpias recomendadas es que el cromo que se emite con el efluente, se puede recuperar para su reutilización asegurando no solamente la economía del uso del cromo, sino también una disminución del impacto ambiental de esta sustancia tóxica. El agente curtiente se fija en las fibras de colágeno, estabilizándolas a través de uniones cruzadas (es decir uniones químicas entre fibras). Dependiendo del tipo y cantidad de curtiente añadido a las pieles, se produce diferentes tipos de cueros. El agente de curtido más usado es el sulfato básico de cromo trivalente, cuyo contenido equivalente de cromo (Cr_2O_3) es del 25 al 36 %, que fue un referente para determinar la cantidad de cromo reutilizado, con la finalidad de proporcionar la llenura ideal del cuero, para facilitar su comercialización y confección.

3. Tamaño del grano

La evaluación estadística del tamaño del grano no determino diferencias estadísticas según la prueba T-student, estableciéndose los resultados más altos al curtir con cromo tradicional con medias de 4,25 puntos una desviación estándar de 0,96, un error típico de las medias de 0,48, una mediana de 4,50 puntos y una mediana 5 puntos 0,96, un error típico de las medias de 0,48, una mediana de 4,50 puntos y una mediana 5 puntos, como se ilustra en el (gráfico 12).

Al respecto Hidalgo, L. (2004), manifiesta que la característica de tamaño del grano de flor se refiere al cierre o apertura del folículo piloso, cuando se cierra es fino y la superficie es lisa que es ideal para cueros destinados a la confección de vestimenta, y cuando se abre es grueso y tosco que es ideal para cueros afelpados o lijados, El tamaño de grano tiene considerable influencia en las propiedades mecánicas de los metales y aleaciones, por eso es de gran interés conocerlo. Así pues, podemos entender que la realización de los diferentes tratamientos térmicos tenga como principal objetivo obtener el tamaño de grano deseado. Resulta evidente que dicho tamaño de grano es inversamente proporcional al número de granos presentes en la muestra.

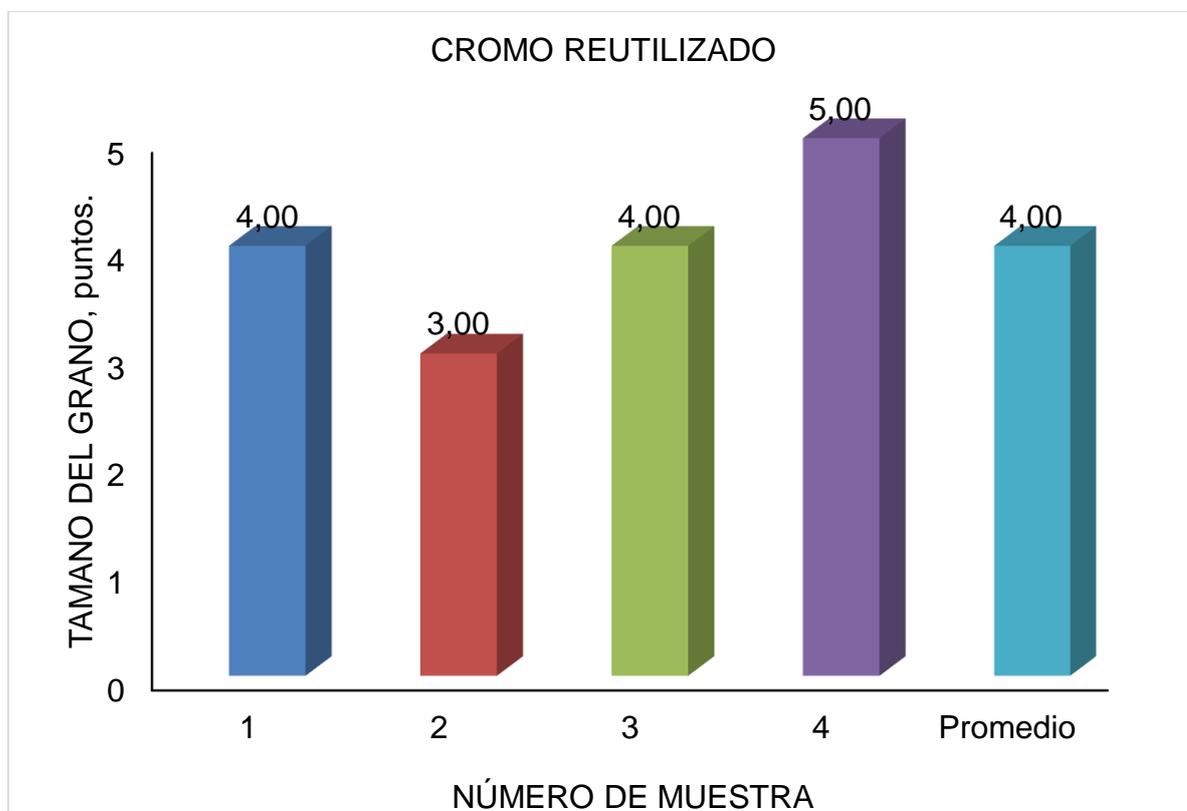
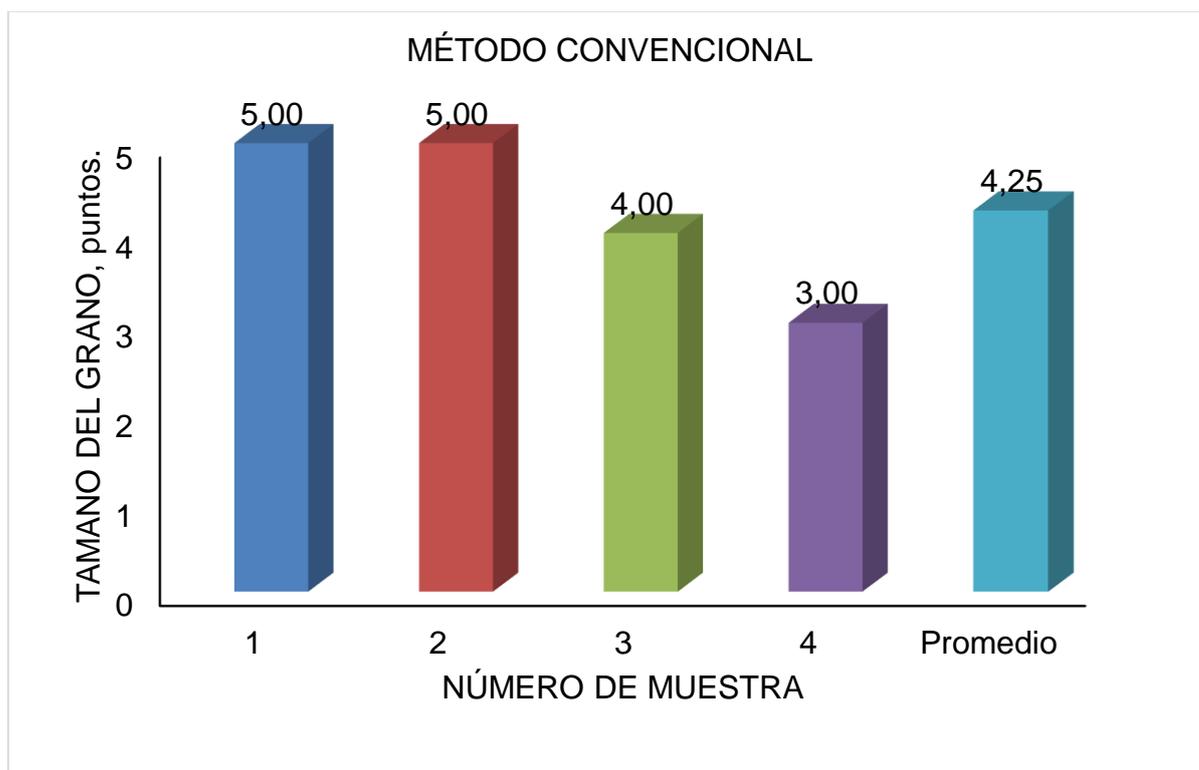


Gráfico 12. Tamaño del grano del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.

La finalidad de la curtición es estabilizar la proteína frente a la descomposición bacteriana y a los agentes externos, mediante la reacción de productos polifuncionales de peso molecular medio. Se utilizan productos de este tipo, por su capacidad de reaccionar con más de una molécula de colágeno. El objetivo secundario de la curtición al cromo es conferir una serie de propiedades a la piel como son: plenitud, tacto, elasticidad, finura de flor, un tamaño de grano ideal para el artículo que se desea confeccionar. La piel curtida al cromo seca posee en su interior un gran número de espacios vacíos en forma de canales microscópicos localizados entre las fibras curtidas. Estos poros permiten que los cuerpos gaseosos tales como el aire y el vapor de agua puedan pasar a su través con relativa facilidad, es lo que se denomina permeabilidad a los gases y al vapor de agua.

D. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO MECÁNICO PARA LA RECUPERACION DE CROMO UTILIZADO EN LA CURTICIÓN DE PIELES

El prototipo mecánico de la Facultad de Ciencias Pecuarias está diseñado con una estructura metálica de 1.80 metros de alto y de largo 1.60 metros, está construido de acero inoxidable.

Dividida en dos pisos en el de la base inferior se encuentran dos tanques de capacidad de 80 litros, el primero contiene un taladro de Walt el mismo que tiene adecuado con una aspa de acero inoxidable que sirve para el movimiento circular del lodo, como se ilustra en la (fotografía 1).



Fotografía 1. Prototipo mecánico de recuperación de cromo.

1. Características generales del taladro

- Engranajes helicoidales con tratamiento térmico para mayor durabilidad y vida útil.
- Carcaza de engranaje metálico para durabilidad y confiabilidad en el sitio de trabajo
- Gatillo de goma de dos dedos para mayor comodidad
- Mango lateral de 360 °para mayor control y versatilidad
- Modificados a través de un circuito mecánico a 120 rpm, como se ilustra en la (fotografía 2).



Fotografía 2. Taladro

La función del 2 tanque es recolectar el agua que cae del lecho de secado. En la base superior se encuentra un taque de 250 litros de capacidad de material plástico con un diámetro de 60 de base y 65 de ancho el mismo que contiene un 2 taladro adecuado con una aspa de acero inoxidable el mismo que sirve para el movimiento circular del agua de cromo, cal y floculante. Las especificaciones generales del taladro son:

- Taladro percutor compacto y de diseño cómodo
- Ideal para trabajos de taladrado dentro y fuera de casa
- Elevada frecuencia de impactos por minuto para trabajos de taladrado en mampostería rápidos y sin esfuerzo
- Modificados a través de un circuito mecánico a 150 rpm
- Se encuentra en la base superior una bomba la función de esta es absorber y traspasar el agua del tanque de 250 litros al lecho de secado.

2. **Bomba**

- Especificaciones generales:
- Filtro previo de Plástico
- Salida de agua
- Arandelas y separador
- Eje de cerámica
- Rotor con imán
- Junta
- Sensores protección marcha en seco
- Conexión tubería
- Rosca exterior
- tornillos



El lecho de secado está construido de vidrio de 10 líneas de 60 cm de ancho y 70 cm de alto, contiene una perforación de 1 pulgada en la parte inferior la cual sirve para desechar el agua del lecho de secado.



E. MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO MECÁNICO PARA LA RECUPERACIÓN DE CROMO UTILIZADO EN LA CURTICIÓN DE PIELES

1. Manual de instrucciones para la instalación y uso

- Este equipo fue diseñado con la finalidad de recuperar el Cromo que es eliminado en el proceso de curtición de pieles, está compuesta por tres, dos con sus respectivos taladros y aspas y uno que es utilizado para contener el agua una vez que el cromo se recuperó.

- Cuenta con un lecho de secado en donde se encuentra un tamiz, para obtener el mejor rendimiento de este equipo hemos redactado el presente manual, que le pedimos leer atentamente y tener en cuenta cada vez que vaya a utilizarla siguiendo al pie de la letra las normas de seguridad, como se muestra en la (fotografía 3).



Fotografía 3. Prototipo mecánico para la recuperación de cromo utilizado en la curtiembre de pieles.

2. Información de seguridad

Al usar el prototipo Mecánico de Recuperación de Cromo, observe las precauciones básicas de seguridad, incluidas las siguientes:

- Lea todas las instrucciones antes del encendido y uso, a fin de prevenir accidentes o daños al prototipo.
- Este prototipo Mecánico de Recuperación de Cromo está diseñado exclusivamente de la curtiembre para evitar la contaminación del agua residual que se elimina del bombo al momento de la curtiembre.

- Sólo use el prototipo Mecánico de Recuperación de Cromo para el propósito para el que fue diseñado. Este aparato cumple con los requerimientos actuales de seguridad.
- El uso inapropiado el prototipo de Recuperación de Cromo puede llevar a daños personales y materiales. Conserve este manual de operación en un lugar seguro y entrégueselo a cualquier futuro usuario.
- Use siempre ropa de trabajo mandil, cofia, guantes, mascarilla, botas.

3. En donde ubicar su prototipo mecánico de refrigeración

- Se recomienda que el prototipo de Recuperación de Cromo este ubicado en un lugar cerca del bombo porque es más fácil trasladar el agua que sale del bombo al equipo.
- Debe existir una distancia entre la parte posterior del prototipo de recuperación de cromo y la pared de unos 15 cm, con el fin de no cuásar daños a la pared.
- Verifique que el voltaje de alimentación coincida con las especificaciones requeridas por la máquina.
- No exponer el prototipo de Recuperación de Cromo a fuentes directas de calor, como el sol, cocinas, calentadores de agua, etc. Ni a exceso de Humedad.

4. Como instalar el prototipo mecánico de recuperación de cromo

- Asegúrese de verificar que el voltaje de 110 voltios para el funcionamiento del prototipo de recuperación de cromo sea el indicado.
- Observar que los toma corrientes donde se va a conectar los taladros no haya contacto con el agua, y evitar posibles daños eléctricos.

- Conecte el cordón de servicio de Recuperación de Cromo al tomacorriente. Tener cuidado al momento de traspasar el agua con cromo hacia el filtro por la bomba, para que el instante que se haya terminado el líquido no se quemé.

5. Precauciones

- No use extensiones ni adaptadores múltiples que compartan otros artefactos, debido a que ocasionan pérdidas de voltaje y recalentamiento de cables.
- Si el sector de ubicación del Prototipo de Recuperación de Cromo sufre de apagones de luz constantes o si la corriente eléctrica es inestable es muy probable que los taladros y la bomba se quemén.
- Recomendamos apagar el Prototipo de Recuperación de Cromo hasta que se halla estabilizado la energía eléctrica.

6. Funcionamiento

- Para encender el Prototipo de Recuperación de Cromo conectar el enchufe a un toma corriente fijo y encendemos para la primera fase de recuperación en el primer tanque.
- Dejar en movimiento por 20 minutos el mismo que contiene agua de Cromo, cal y floculante.
- Dejar reposar por 10 minutos para observar los grumos de floculante.
- Encender la bomba para traspasar la mezcla al filtro de secado y dejar reposar por 4 días, hasta que no exista agua en el tamiz.
- Pasado los 4 días recoger el lodo de Cromo recuperado y pesa la cantidad de lodo
- Colocar en el segundo tanque el Cromo Recuperado y añadir ácido sulfúrico (10 gramos por 100 gramos de lodo)

- Batir por 5 minutos para que el lodo sea vuelva homogéneo, y finalmente una vez terminada el proceso desconectamos el enchufe del toma corriente
- **NOTA:** Antes y después de encender el Prototipo de Recuperación de Cromo lavarlo con abundante agua.
- **Importante:** Asegurarse que no existan residuos en la cañería de traspasado, se recomendaría hacer un traspaso con agua.

7. Recomendaciones

- Recolectar el agua de Cromo que sale del bombo en el tanque indicado.
- No utilizar el tanque que se encuentra específicamente para el agua de curtido.
- No introduzca sustancias toxicas, están pueden contaminar el agua de Cromo.
- No introducir la mano en el momento que este girando el taladro porque en el interior se encuentra la aspa que puede ocasionar daños
- Nota: en caso de que el Prototipo de Recuperación de Cromo vaya a permanecer fuera de uso temporalmente o por un tiempo prolongado, observe que no haya agua acumulada para evitar malos olores.

8. Limpieza y mantenimiento

- Desenchufe el prototipo Mecánico de Recuperación de Cromo antes de empezar a limpiar.
- Nunca limpie el prototipo Mecánico de Recuperación de Cromo con fluidos inflamables como alcohol, querosén, gasolina, thinner, solventes o productos químicos / abrasivos como detergentes, ácidos, vinagre.
- Tampoco use productos de limpieza tales como detergentes en polvo, detergentes abrasivos, limpiadores alcalinos, paños químicos, solventes,

alcohol ni agua caliente para limpiar el refrigerador pues podrían dañar la pintura y las partes plásticas.

- Si no va a utilizar el prototipo Mecánico de Recuperación de Cromo por largo tiempo, desenchúfelo, límpielo y seque.

9. Parte interna

- Limpie el interior de los tanques con abundante agua, cepillo y lavar con cuidado el aspa
- Nunca utilice objetos metálicos, productos abrasivos o alcalinos para limpiar las superficies plásticas en el interior del prototipo. Enjuáguelo y séquelo con cuidado para no dañarlo.

10. Parte externa

- Limpie la parte externa con un paño humedecido en agua.
- Hacer una limpieza una vez por semana para verificar que no exista taponamientos en la tubería.
- Desconecte el prototipo antes de iniciar la limpieza y cuide que no entre agua en el interior de la bomba y de igual forma en los taladros.

F. PROYECCIÓN ECONÓMICA

La compra o importación de un equipo para recuperar residuos industriales se convierte en una inversión muy alta por lo tanto difícil de adquirir, sobre todo para aquellos procesos en donde intervienen la generación de reacciones químicas y procesos de extracción de materiales. Sin embargo, por los resultados de la presente investigación es fácil determinar que la recuperación de cromo es una vía rentable que se puede instalar en los sectores industriales en especial donde se da la producción de cuero, el costo total del equipo fue de \$1935 monto que fue

cubierto por los investigadores y este rubro incluyo todos los materiales construcción, mano de obra y varios.

En el diseño y construcción del prototipo mecánico para la recuperación de cromo para la Facultad de Ciencias Pecuarias, se tomó como referencia las cotizaciones especialmente de equipos de origen asiático y que ya en nuestro país tendrían un costo de 5000 dólares que se indica en el cuadro 7, con las especificaciones necesarias para conseguir la pureza adecuada en la recuperación de cromo, por lo tanto la comparación con el costo del equipo de la presente investigación es muy alto, y sobre todo muy difícil de incursionar sobre todo por pequeños artesanos que requieren automatizar el proceso de obtención de sulfato de cromo para utilizarlo como agente curtiembre en la producción de diversos tipos de cuero.

De los resultados expuestos se afirma que existe un ahorro considerable de dinero al elaborar este tipo de equipos de producción nacional ya que es de conocimiento general que la mano de obra de nuestro país es muy calificada y que existe el talento para producir equipos no solo similares si no superiores a los que vienen de otros países pero con precios muy elevados por la necesidad de adquirirlos por lo tanto es conveniente promocionar los resultados de la presente investigación, pionera en el ramo, para que las personas que trabajan en la industria de la curtiembre puedan contar con equipos que simplifiquen su trabajo y mejoren la calidad del producto.

Cuadro 7. COSTOS DEL PROTOTIPO MECÁNICO

| Cantidad | Descripción del producto | Precio unitario | Total |
|----------|--|-----------------|-------|
| 1 | Tubo cuadrado de acero al carbón de 40 mm x 2 mm. | 40 | 40 |
| 3 | Plancha en acero al carbón con un espesor de 3mm | 50 | 150 |
| 2 | Plancha de acero al carbón de 1 mm. | 75 | 150 |
| 2 | Plancha acero inoxidable de 1 mm. | 50 | 100 |
| 2 | Taladro con potencia de 0,5 HP | | 250 |
| | | | 125 |
| 1 | Tubo de PVC diámetro nominal 1 ^{1/2} plg. | 50 | 50 |
| 1 | Bomba marca Pedrollo potencia 0,5 HP. | 150 | 150 |
| 2 | Planchas de vidrio templado de 30*30 cm. | 20 | 80 |
| 3 | Tamiz Filtrante. | 10 | 30 |
| 5 | Válvulas y accesorios de acero | 6 | 30 |
| 300 | Hidróxido de calcio, g. | 0,10 | 30 |
| 100 | Floculante, g. | 0,50 | 50 |
| | Materiales varios y mano de obra | | 700 |
| | | SUB | |
| | | TOTAL | 1935 |
| | | IVA 14 % | 0 |
| | | TOTAL | 1935 |

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación y teniendo en cuenta los objetivos y metas planteadas se formularon las siguientes conclusiones:

- Se diseñó, construyó e implementó un prototipo mecánico en el laboratorio de curtiembre de pieles de la Facultad de Ciencias Pecuarias el cual se utilizó para la recuperación de sulfato de cromo del agua residual de los licores procedentes de los bombos de curtición, obteniéndose un rendimiento de 30,12 % en la recuperación de cromo.
- Después de la recuperación de cromo con el prototipo mecánico; se obtuvo, por cada gramo de sulfato de cromo adicionado en la curtición de las pieles se recuperó 0,30 gr de sulfato de cromo, el cual sirvió para reutilizarlo en el proceso de curtición.
- En el análisis de las resistencias físicas de las pieles curtidas con el método tradicional vs. Curtición con cromo recuperado; se obtuvo que, la resistencia a la tensión las pieles del segundo tratamiento reportaron mejores respuestas (2014,10 y 2642,02 N/cm²), mientras que para el porcentaje de elongación (111,25 y 58,755 %) y la lastimetría (11,03 y 10,78 mm), las medias del primer tratamiento fueron superiores, pero al no existir diferencias significativas entre los valores numéricos se afirma que recuperar el cromo y reutilizarlo en el proceso de curtido es una tecnología viable para la obtención de pieles de elevada calidad.
- Para la construcción e implementación del prototipo mecánico se realizó una inversión de \$1935, que comparado con el precio en el mercado de máquinas para recuperar el cromo que esta alrededor de \$5000 es notablemente inferior y lo hace una vía rentable para que el productor pueda invertir y generar ganancias.

VII. RECOMENDACIONES

Después de formuladas las conclusiones, se plantearon las siguientes recomendaciones:

- Verificar las fichas técnicas del hidróxido de calcio y del agente floculante, para constatar su pureza y su concentración logrando así mejorar la eficiencia en la recuperación del cromo.
- Utilizar equipo de protección personal al manipular los agentes químicos y verificar que se cumpla con lo establecido en el manual del equipo para mantener la seguridad del operador y no generar daños en el equipo que disminuyan su vida útil.
- Se recomienda recuperar el cromo del agua residual de los licores de curtido para mitigar el impacto ambiental generado por el cromo desechado a cuerpos de agua dulce, además de asegurar el alto agotamiento del cromo evitando que se generen reacciones no deseadas en los cueros confeccionados que puedan afectar a la salud del consumidor.
- Se recomienda validar la eficiencia del prototipo mecánico curtiendo pieles de diferentes especies zootécnicas, con lo cual se podrá demostrar la calidad del cromo recuperado lo cual generara un alto impacto a favor del uso de tecnologías más limpias en la industria curtiembre

VIII. LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE, A. 2002. Los Sistemas de Indicadores Ambientales y su papel en la Información e integración del Medio Ambiente, http://www.ciccp.es/webantigua/icitema/Comunicaciones/Tomo_II/T201231.pdf.
2. BACARDIT, A. 2005. Procesos de curtidos. 2da ed. Catalunya, España. Edit. CETI. pp. 3, 5, 45, 49,80.
3. BOLIVIA. EL CENTRO DE PROMOCIÓN DE TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES CPTS 2003. Guía Técnica de Producción más Limpia para Curtiembres, Bolivia.
4. BULJAN, J. (2000), Cromo, el elemento que hizo brillar al siglo XX disponible en el sitio http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/05/150527_ciencia_cromo_fin_de_vs
5. BUSTOS C. (2010), Adsorción de cromo mediante el empleo de microcápsulas que contienen extractantes aniónicos comerciales disponible en el sitio <https://es.scribd.com/document/246169864/El-Cromo-Historia>
6. CASTELLS, X. (2000), Propiedades químicas del Cromo - Efectos del Cromo sobre la salud - Efectos ambientales del Cromo disponible en el sitio <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cr.htm#Efectos%20ambientales%20del%20Cromo>
7. CAMPBELL, D. (2006), ¿Qué es el Cromo Hexavalente? disponible en el sitio <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-el-cromo-hexavalente/>
8. CENTRO DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA CPML 2008. Manual de Buenas Prácticas.

9. CHASIQUIZA, A. 2014. Comparación de la curtición con extracto de polifenoles vegetales De *Caesalpinia Spinosa*, con una curtición mineral con sulfato de cromo para pieles caprinas (Tesis de titulación). Facultad de Ciencias Pecuarias. ESPOCH. Riobamba. Ecuador.
10. CHÁVEZ, A. 2010. Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo Disponible en el sitio web <https://es.scribd.com/document/215271198/DESCRIPCION-DE-LA-NOCIVIDAD-DEL-CROMO>.
11. ESPINOZA P. 2016 Utilización de adsorbentes basados en quitosano y alginato sódico para la eliminación de iones metálicos. Disponible en el sitio <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/ENE07/elena.pdf>
12. FRANKEL, A. 2009. Tecnología del Cuero. 1a ed. Buenos Aires, Argentina .Edit. Albatros. pp 34 - 45.
13. FRENDEUP, WILLY. 2008. Danish Technological Institute / Environmental Technology, Practica Limit values for Chemical Substances and Physical Agents Biological Exposure Indices.
14. GULAS, V. LINDLEY, R. (2008). *Journal WPCF*; Vol. 50 (7), APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 131 h ed., American Public Health Association, New York.
15. GANSSER, A. 2007. Manual del Curtidor, 4a.ed. Barcelona-España. Edit Gustavo Gili S.A. pp 12 - 15.
16. GARCÍA, V. 2008. Hacia una definición de fibra alimentaria., Caracas-Venezuela., En: Anales Venezolanos de Nutrición. ISSN 0798-0752. V. 21. No. 1.p. 35.

17. GRAVES, R. 2007. la materia prima y su conservación. 2a ed. Igualada, España. Edit. Penelope. pp. 59,60,61,62,68.
18. GROZZA, G. 2007. . Curtición de Cueros y Pieles Manual práctico del curtidor. Gius. 1ª ed. Barcelona, España. Edit. Sintes. S.A. pp 45 – 56.
19. GRUNFELD, A. 2008. Remojo de pieles lanares para doble faz. T.C.Andrés 1993. AUQTIC. Av.Italia 6201 Montevideo-Uruguay.
20. HIDALGO, L. 2017. Escala de calificación sensorial para los cueros ovinos curtidos con diferentes técnicas.
21. HUAMANÍ, G. 2011. “Estudio técnico para la recuperación del sulfato de cromo III en la industria curtiembre del Perú”. Universidad Nacional del Callao. Informe Final de Investigación.
22. LUDVICK. UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (UNIDO). 2010. Crome mangement in the Tayard.
23. MENÉNDEZ, P. 2016. Curtición del cuero para ante lana. Disponible en el sitio web: <http://ingindustrialjd.blogspot.com/p/el-curtido-del-cuero.html>.
24. MORERA, J. 2002 Química técnica de la curtición. 1a ed. Catalunya, España. Edit Consorci Escola Técnica d'Igualada. pp 25 – 34.
25. PILATAXI, C. 2017. “Curtición de pieles ovinas con diferentes niveles de sulfato de aluminio en combinación con precurtiente resínico en la obtención de cuero para calzado. Facultad de Ciencias Pecuarias. ESPOCH. Tesis de grado. pp. 45-47.
26. PILAMUNGA, I. 2017. Curtición de pieles caprinas con la utilización de una combinación de diferentes niveles de Caelsalpinia Spinoza (tara) y ácido oxálico. Facultad de Ciencias Pecuarias. ESPOCH. Tesis de grado. pp. 78-80.

27. ROMERO J. 2002. Recirculacion del cromo en una industria de curtido. Disponible en el sitio: http://www.indigoquimica.net/pdf/biblioteca/medio_ambiente/Recirculacion_de_banos.pdf.
28. RYDIN, STEFAN AND FENDRUP, W. 2016. Nordic Council of Ministers, Possibility for Red. Per. Quím. Ing. Quím. Vol. 8 N.º 2, 2005. Edit reduction of the Pollution Load from Tanneries. pp. 61-67.
29. SILVA, T. 2016. Curtición de alto agotamiento sin sal. Disponible en el sitio web: <https://www.silvateam.com/es/productos-y-servicios/productos-para-curtiembre/procesos-de-curtido-ecotan/curtici-n-h-brid-a-al-cromo.html>.
30. SOLER. J. 2004. Procesos de curtición. (2a ed.). Igualada, España. Edit. Escuela Superior de Tenerife. pp. 177-183.
31. TABOADA, J, 2005 Sistemas de Información Medioambiental y Producción limpia en la Industria de curtiembre. 1a ed. Santiago de Compostela España. Edit Universidad de Santiago de Compostela, Netbiblo. pp 132 154.
32. VARGAS, R. 2005 “Estudio de la elaboración de cuero a partir de la piel seca de Lisa (Mugil cephalus)”. Tesis para optar el título de Ingeniero Pesquero, Universidad Nacional Agraria La Molina.
33. VALLEJO, R. (2004), Descripción de la nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo disponible en el sitio <https://es.scribd.com/document/215271198/DESCRIPCION-DE-LA-NOCIVIDAD-DEL-CROMO>
34. WASTEWATER ENGINEERING. 2011. Treatment; Disposal Reuse, Metcalf & Eddy, 3a ed. Washington, USA. Edit McGraw-Hill, Inc. pp. 475-578.

ANEXOS

Anexo 1. Resistencia a la tensión del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.

A. Análisis de los datos

| TRATAMIENTO | REPETICION | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|--------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Convencional | 1 | 2267,86 | 253,76 | 64392,84 |
| Convencional | 2 | 1866,67 | -147,43 | 21736,50 |
| Convencional | 3 | 1921,88 | -92,22 | 8505,40 |
| Convencional | 4 | 2000,00 | -14,10 | 198,80 |
| | Promedio | 2014,10 | Sumatoria | 94833,54 |
| | | | Varianza | 31611,18 |
| | | | Desviación | 177,795328 |

| Tratamiento | Repetición | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|------------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Cromo recuperado | 1 | 2500,00 | 485,90 | 236099,10 |
| Cromo recuperado | 2 | 2653,85 | 639,75 | 409275,52 |
| Cromo recuperado | 3 | 2205,88 | 191,78 | 36780,59 |
| Cromo recuperado | 4 | 3208,33 | 1194,23 | 1426193,97 |
| | Promedio | 2642,02 | Sumatoria | 2108349,17 |
| | | | Varianza | 702783,06 |
| | | | Desviación | 838,32 |

B. Prueba de T-student

| | <i>Convencional</i> | <i>Cromo recupe</i> |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Media | 2014,10 | 2642,02 |
| Varianza | 31611,18 | 177078,79 |
| Observaciones | 4,00 | 4,00 |
| Varianza agrupada | 104344,99 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0,00 | |
| Grados de libertad | 6,00 | |
| Estadístico t | -2,75 | |
| P(T<=t) una cola | 0,02 | * |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,94 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,03 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,45 | |

Anexo 2. Porcentaje de elongación del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.

A. Análisis de los datos

| TRATAMIENTO | REPETICION | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|--------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Convencional | 1 | 110,00 | -1,25 | 1,56 |
| Convencional | 2 | 115,00 | 3,75 | 14,06 |
| Convencional | 3 | 105,00 | -6,25 | 39,06 |
| Convencional | 4 | 115,00 | 3,75 | 14,06 |
| | Promedio | 111,25 | Sumatoria | 68,75 |
| | | | Varianza | 22,92 |
| | | | Desviación | 4,78713554 |

| Tratamiento | Repetición | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|------------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Cromo recuperado | 1 | 57,50 | -53,75 | 2889,06 |
| Cromo recuperado | 2 | 55,00 | -56,25 | 3164,06 |
| Cromo recuperado | 3 | 67,50 | -43,75 | 1914,06 |
| Cromo recuperado | 4 | 55,00 | -56,25 | 3164,06 |
| | Promedio | 58,75 | Sumatoria | 11131,25 |
| | | | Varianza | 3710,42 |
| | | | Desviación | 60,91 |

B. Prueba de T-student

| | <i>Convencional</i> | <i>Cromo recupe</i> |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Media | 111,25 | 58,75 |
| Varianza | 22,9166667 | 35,4166667 |
| Observaciones | 4 | 4 |
| Varianza agrupada | 29,1666667 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 6 | |
| Estadístico t | 13,7477271 | |
| P(T<=t) una cola | 4,6052E-06 | ** |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,94318028 | |
| P(T<=t) dos colas | 9,2103E-06 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,44691185 | |

Anexo 3. Lastometría del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.

A. Análisis de los datos

| TRATAMIENTO | REPETICION | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|--------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Convencional | 1 | 11,91 | 0,88 | 0,78 |
| Convencional | 2 | 11,71 | 0,69 | 0,47 |
| Convencional | 3 | 11,00 | -0,03 | 0,00 |
| Convencional | 4 | 9,48 | -1,55 | 2,39 |
| | Promedio | 11,03 | Sumatoria | 3,65 |
| | | | Varianza | 1,22 |
| | | | Desviación | 1,10298954 |

| Tratamiento | Repetición | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|------------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Cromo recuperado | 1 | 10,71 | -0,32 | 0,10 |
| Cromo recuperado | 2 | 11,00 | -0,03 | 0,00 |
| Cromo recuperado | 3 | 10,71 | -0,32 | 0,10 |
| Cromo recuperado | 4 | 10,71 | -0,32 | 0,10 |
| | Promedio | 10,78 | Sumatoria | 0,31 |
| | | | Varianza | 0,10 |
| | | | Desviacion | 0,32 |

B. Prueba de T-student

| | <i>Convencional</i> | <i>Cromo recupe</i> |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Media | 11,0254094 | 10,7794118 |
| Varianza | 1,21658593 | 0,0216263 |
| Observaciones | 4 | 4 |
| Varianza agrupada | 0,61910612 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 6 | |
| Estadístico t | 0,44214359 | |
| P(T<=t) una cola | 0,33693833 | ns |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,94318028 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,67387667 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,44691185 | |

Anexo 4. Blandura del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.

A. Análisis de los datos

| TRATAMIENTO | REPETICION | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|--------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Convencional | 1 | 5,00 | 0,25 | 0,06 |
| Convencional | 2 | 5,00 | 0,25 | 0,06 |
| Convencional | 3 | 4,00 | -0,75 | 0,56 |
| Convencional | 4 | 5,00 | 0,25 | 0,06 |
| | Promedio | 4,75 | Sumatoria | 0,75 |
| | | | Varianza | 0,25 |
| | | | Desviación | 0,5 |

| Tratamiento | Repetición | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|------------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Cromo recuperado | 1 | 4,00 | -0,75 | 0,56 |
| Cromo recuperado | 2 | 3,00 | -1,75 | 3,06 |
| Cromo recuperado | 3 | 4,00 | -0,75 | 0,56 |
| Cromo recuperado | 4 | 5,00 | 0,25 | 0,06 |
| | Promedio | 4,00 | Sumatoria | 4,25 |
| | | | Varianza | 1,42 |
| | | | Desviación | 1,19 |

B. Prueba de T-student

| | <i>Convencional</i> | <i>Cromo recupe</i> |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Media | 4,75 | 4,00 |
| Varianza | 0,25 | 0,67 |
| Observaciones | 4,00 | 4,00 |
| Varianza agrupada | 0,46 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0,00 | |
| Grados de libertad | 6,00 | |
| Estadístico t | 1,57 | |
| P(T<=t) una cola | 0,08 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,94 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,17 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,45 | |

Anexo 5. Llenura del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.

A. Análisis de los datos

| TRATAMIENTO | REPETICION | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|--------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Convencional | 1 | 4,00 | 0,00 | 0,00 |
| Convencional | 2 | 4,00 | 0,00 | 0,00 |
| Convencional | 3 | 3,00 | -1,00 | 1,00 |
| Convencional | 4 | 5,00 | 1,00 | 1,00 |
| | Promedio | 4,00 | Sumatoria | 2,00 |
| | | | Varianza | 0,67 |
| | | | Desviación | 0,81649658 |

| Tratamiento | Repetición | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|------------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Cromo recuperado | 1 | 3,00 | -1,00 | 1,00 |
| Cromo recuperado | 2 | 4,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cromo recuperado | 3 | 3,00 | -1,00 | 1,00 |
| Cromo recuperado | 4 | 4,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Promedio | 3,50 | Sumatoria | 2,00 |
| | | | Varianza | 0,67 |
| | | | Desviación | 0,82 |

B. Prueba de T-student

| | <i>Convencional</i> | <i>Cromo recupe</i> |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Media | 4,00 | 3,50 |
| Varianza | 0,67 | 0,33 |
| Observaciones | 4,00 | 4,00 |
| Varianza agrupada | 0,50 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0,00 | |
| Grados de libertad | 6,00 | |
| Estadístico t | 1,00 | |
| P(T<=t) una cola | 0,18 | ns |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,94 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,36 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,45 | |

Anexo 6. Tamaño de grano del cuero ovino curtido con cromo total y con recirculación de cromo.

A. Análisis de los datos

| TRATAMIENTO | REPETICION | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|--------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Convencional | 1 | 5,00 | 0,75 | 0,56 |
| Convencional | 2 | 5,00 | 0,75 | 0,56 |
| Convencional | 3 | 4,00 | -0,25 | 0,06 |
| Convencional | 4 | 3,00 | -1,25 | 1,56 |
| | Promedio | 4,25 | Sumatoria | 2,75 |
| | | | Varianza | 0,92 |
| | | | Desviación | 0,95742711 |

| Tratamiento | Repetición | Observado | obs- espr | (obs - esp) ² |
|------------------|------------|-----------|------------|--------------------------|
| Cromo recuperado | 1 | 4,00 | -0,25 | 0,06 |
| Cromo recuperado | 2 | 3,00 | -1,25 | 1,56 |
| Cromo recuperado | 3 | 4,00 | -0,25 | 0,06 |
| Cromo recuperado | 4 | 5,00 | 0,75 | 0,56 |
| | Promedio | 4,00 | Sumatoria | 2,25 |
| | | | Varianza | 0,75 |
| | | | Desviación | 0,87 |

B. Prueba de T-student

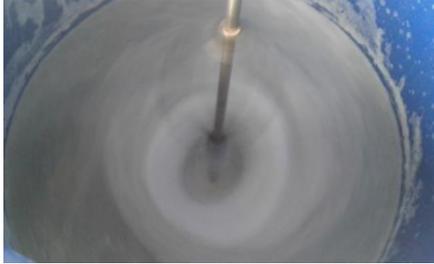
| | <i>Convencional</i> | <i>Cromo recupe</i> |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Media | 4,25 | 4,00 |
| Varianza | 0,92 | 0,67 |
| Observaciones | 4,00 | 4,00 |
| Varianza agrupada | 0,79 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0,00 | |
| Grados de libertad | 6,00 | |
| Estadístico t | 0,40 | |
| P(T<=t) una cola | 0,35 | ns |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,94 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,70 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,45 | |

Anexo 7. Evidencia fotográfico de trabajo experimental Diseño e implementacion de un prototipo mecanico para la recuperacion de Cromo utilizado en la curticion de pieles.

Diseño del prototipo



Primera recuperación de cromo



Adición de la cal



Adición del floculante

