

**DESARROLLO DE UNA TÉCNICA DE PRECIPITACIÓN PARA REDUCIR  
EL CONTENIDO DE COBRE, NÍQUEL, ZINC PRESENTES EN LAS AGUAS  
INDUSTRIALES DE LA EMPRESA DE ELECTRO-RECUBRIMIENTOS  
FANTAXIAS LTDA. DE BUCARAMANGA.**

**MARITZA GAMBOA GUALDRÓN  
LENNY MARITZA QUIROGA ESPITIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUIMICA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA.  
BUCARAMANGA.**

**2006**

**DESARROLLO DE UNA TÉCNICA DE PRECIPITACIÓN PARA REDUCIR  
EL CONTENIDO DE COBRE, NÍQUEL, ZINC PRESENTES EN LAS AGUAS  
INDUSTRIALES DE LA EMPRESA DE ELECTRO-RECUBRIMIENTOS  
FANTAXIASLTDA .DE BUCARAMANGA.**

**MARITZA GAMBOA GUALDRÓN  
LENNY MARITZA QUIROGA ESPITIA**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de:  
Ingeniero Químico.**

**Director:  
GUSTAVO NEIRA ARENAS.  
Ph.D. Ingeniero Metalúrgico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUIMICA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA.  
BUCARAMANGA.**

**2006**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Gustavo Neira Arenas P.h D. en Ingeniería Metalúrgica y docente de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, director del trabajo de grado por su gran apoyo y disposición presentados a lo largo de la ejecución de este proyecto.

Humberto Escalante P.h D. en Ingeniería Química y docente de la Escuela de Ingeniería Química, por su orientación y colaboración en el transcurso de este trabajo de grado.

Ludwing Manuel Ingeniero Químico por su gran colaboración y tiempo al inicio de este proyecto.

Grupo de Biohidrometalurgia por permitirnos desarrollar el trabajo de grado.

## DEDICATORIAS

Dedico este libro a Dios que me ha permitido lograr este triunfo a pesar de las grandes dificultades que se me presentaron. A mi mamá GRACIELA ESPITIA que con gran amor me dio fuerzas para seguir adelante, a mi papá REINALDO QUIROGA que supo orientarme a pesar de mis necesidades, a mis amigas con las que pasé momentos inolvidables.

A todos muchas gracias...

LENNY MARITZA QUIROGA

*A mi PADRE CELESTIAL quien me ha escuchado, hablado, enseñado y respaldado en el transcurso de mis estudios.*

*A mi mamá SOCORRO y a mi papito GERARDO, que con su orientación y apoyo me ayudaron en el cumplimiento de esta meta.*

*A mis hermanos STELLA, RICARDO y JORGE.*

*A mis amigas ZAHIRA, DIANA, LENNY y SANDRA.*

MARITZA GAMBOA GUALDRON

## CONTENIDO

	Pàg
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
1.1 La Industria de Recubrimientos Metálicos	3
1.2 Efluentes de la industria de electro-recubrimientos	5
1.3 Tratamiento de las aguas residuales	6
1.3.1 Oxidación de complejos cianurados	8
1.3.1.1 Alternativas De Tratamiento	8
1.3.1.2 Tratamiento con hipoclorito de Sodio	8
1.3.2 Neutralización ó precipitación química	11
1.4 Normatividad ambiental	13
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>15</b>
<b>3. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>19</b>
3.1 Caracterización de los efluentes de la planta de producción	19
3.2 Diseño y aplicación de la Técnica de precipitación	22
3.2.1 Técnica de precipitación para la línea de cobrizado	23
3.2.2 Técnica de precipitación para la Línea de Latonado	27
3.2.3 Técnica de precipitación para Línea de Niquelado	31
3.2 Caracterización físico- química de los sólidos	34
3.3 Análisis Químico	35
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>36</b>
4.1 Oxidación de cianuros	36
4.2 Resultados de la precipitación de metales en cada línea de producción	37
4.2.1 Línea de Cobrizado	37
4.2.2 Línea de Latonado	38
4.2.3 Línea de Niquelado	39
4.3 Caracterización físico- química de los lodos producidos	39
4.3.1 Análisis de espectroscopia de Infrarrojo	39
4.3.2 Análisis Termogravimètrico	41
4.3.3 Ensayo de toxicidad característico (TCLP)	41
4.3.4 Ensayo por difracción de rayos X	42
4.3.5 Análisis Químico	46

<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>48</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS</b>	

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág</b>
<b>Tabla 1.</b> Tecnologías para la remoción de metales pesados	<b>8</b>
<b>Tabla 2.</b> Rango de pH a la cual se presenta la solubilidad mínima de metal	<b>12</b>
<b>Tabla 3.</b> Resultados de la Concentración de Cu, Ni, Zn y Cianuros con su respectivo punto de vertimiento	<b>19</b>
<b>Tabla 4.</b> Resultados del muestreo de efluentes en las líneas de producción de Fantaxías Ltda.	<b>20</b>
<b>Tabla 5.</b> Resultados del muestreo de efluentes en las líneas de producción de Fantaxías Ltda	<b>21</b>
<b>Tabla 6</b> Resultados del muestreo de efluentes en las líneas de producción de Fantaxías Ltda	<b>21</b>
<b>Tabla 7</b> Condiciones y características de la opción de tratamiento diseñada para el vertimiento de la línea de cobrizado.	<b>24</b>
<b>Tabla 8</b> Condiciones experimentales de la primera etapa de la oxidación de cianuros ( línea de cobrizado)	<b>25</b>
<b>Tabla 9</b> Condiciones experimentales de la segunda etapa de oxidación de cianuros (línea de cobrizado )	<b>25</b>
<b>Tabla 10</b> Prueba de floculación para cobre	<b>27</b>
<b>Tabla 11</b> Condiciones y características de la opción de tratamiento para el vertimiento de la línea latonado	<b>28</b>
<b>Tabla 12</b> Condiciones experimentales de la primera etapa de la oxidación de cianuros (línea latonado)	<b>29</b>
<b>Tabla 13</b> Condiciones experimentales de la segunda etapa de oxidación de cianuros ( línea latonado)	<b>29</b>
<b>Tabla 14</b> Prueba de Floculación para Latón	<b>32</b>
<b>Tabla 15</b> Prueba de floculación para Níquel	<b>33</b>
<b>Tabla 16</b> Condiciones y características de la opción de tratamiento diseñada para el vertimiento de la línea de Niquelado.	<b>34</b>
<b>Tabla 17</b> Resultados de la oxidación de cianuros con diferentes adiciones de hipoclorito ( línea de cobrizazo)	<b>36</b>
<b>Tabla 18</b> Resultados de la oxidación de cianuros con diferentes adiciones de hipoclorito ( línea de latonado)	<b>37</b>
<b>Tabla 19</b> Resultados finales de la concentración de cobre en cada etapa del tratamiento	<b>38</b>

<b>Tabla 20</b>	Resultados finales de la concentración de Cobre ( latón ) en cada etapa del tratamiento	<b>38</b>
<b>Tabla 21</b>	Resultados finales de la concentración de Zinc ( latón ) en cada etapa del tratamiento	<b>39</b>
<b>Tabla 22</b>	Resultados finales de la concentración de Níquel en cada etapa del tratamiento	<b>39</b>
<b>Tabla 23</b>	Concentraciones de Cobre en las soluciones después del ensayo TCLP	<b>42</b>
<b>Tabla 24</b>	Concentraciones de Cobre y Zn en las soluciones después del ensayo TCLP	<b>42</b>
<b>Tabla 25</b>	Concentraciones de Níquel en las soluciones después del ensayo TCLP	<b>42</b>
<b>Tabla 26</b>	Porcentaje de cobre, Níquel y Zinc presente de cada uno de los residuos sólidos	<b>46</b>
<b>Tabla 27</b>	Resultado del análisis Químico de lodos (Línea de Cobrizado)	<b>47</b>
<b>Tabla 28</b>	Resultado del análisis Químico de lodos (Línea de Latonado)	<b>47</b>
<b>Tabla 29</b>	Resultado del análisis Químico de lodos (Línea de Niquelado)	<b>47</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Celda electrolítica para recubrimiento	<b>3</b>
<b>Figura 2.</b> Operaciones más importantes de un proceso físico-químico de tratamiento aguas residuales	<b>7</b>
<b>Figura 3.</b> Diagrama de solubilidad de diferentes metales en función del pH	<b>12</b>
<b>Figura 4.</b> Etapas propuestas en la metodología para el cumplimiento de los objetivos del trabajo.	<b>15</b>
<b>Figura 5.</b> Variaciones de las concentraciones de cobre y cianuro de acuerdo con la horade toma de la muestra en FANTAXÍAS Ltda.	<b>20</b>
<b>Figura 6.</b> Variaciones de las concentraciones de cobre, Zinc y cianuro de acuerdo con la horade toma de la muestra en FANTAXÍAS LTDA	<b>21</b>
<b>Figura 7.</b> Variaciones de las concentraciones de Níquel de acuerdo con la hora de toma de la muestra en FANTAXÍAS LTDA.	<b>22</b>
<b>Figura 8.</b> Diagrama de flujo del tratamiento aplicado la línea de cobrizado	<b>23</b>
<b>Figura 9.</b> Curva potenciométrica para la destrucción de los cianuros Cu	<b>26</b>
<b>Figura 10.</b> Cinética de precipitación, de cobre en soluciones sintéticas	<b>27</b>
<b>Figura 11.</b> Curva potenciométrica para la destrucción de los cianuros latón	<b>30</b>
<b>Figura 12.</b> Cinética de precipitación, de cobre en soluciones sintéticas (línea de latonado)	<b>31</b>
<b>Figura 13.</b> Cinética de precipitación, de Zinc en soluciones sintéticas	<b>31</b>
<b>Figura 14.</b> Diagrama de flujo del tratamiento aplicado a la línea de Niquelado	<b>32</b>
<b>Figura 15.</b> Cinética de precipitación, de Níquel en soluciones sintéticas	<b>33</b>
<b>Figura 16.</b> Resultados de análisis de Espectroscopia de Infrarrojo del Lodo Cobrizado	<b>40</b>
<b>Figura 17.</b> Resultados de análisis de Espectroscopia de Infrarrojo del Lodo Latonado	<b>40</b>
<b>Figura 18.</b> Resultados de análisis de Espectroscopia de Infrarrojo del Lodo Niquelado	<b>41</b>
<b>Figura 19.</b> Resultados de Difracción de Rayos X para los lodos de latón	<b>43</b>

<b>Figura 20.</b>	Resultados de Difracción de Rayos X para los lodos de latón Sintético Floculado	<b>43</b>
<b>Figura 21.</b>	Resultados de Difracción de Rayos X para los lodos de Cobre Sintético Floculado	<b>44</b>
<b>Figura 22.</b>	Resultados de Difracción de Rayos X para los lodos de Cobre Oxidado	<b>44</b>
<b>Figura 23.</b>	Resultados de Difracción de Rayos X para los lodos de Cobre Floculado	<b>45</b>
<b>Figura 24.</b>	Resultados de Difracción de Rayos X para los lodos de Níquel Floculado	<b>45</b>
<b>Figura 25.</b>	Resultados de Difracción de Rayos X para los lodos Níquel Sintético Floculado	<b>46</b>

## **.LISTA DE ANEXOS**

- Anexo 1.** Etapas del proceso de recubrimientos metálicos aplicado en la empresa Fantaxías Ltda
- Anexo 2.** Tecnologías alternas para lograr la remoción de cianuros
- Anexo 3** Concentraciones máximas permisibles para verter a un cuerpo de agua y/o red de alcantarillado público
- Anexo 4.** Diagramas de Pourbaix para cobre, Níquel y Zinc
- Anexo 5.** Resultado del análisis Termogravimétrico.
- Anexo 6.** Fotos de las pruebas realizadas
- Anexo 7.** Ficha técnica del floculante Rapifloc
- Anexo 8.** Plano de Distribución de la empresa

## TITULO

**DESARROLLO DE UNA TÉCNICA DE PRECIPITACIÓN PARA REDUCIR EL CONTENIDO DE COBRE, NÍQUEL, ZINC PRESENTES EN LAS AGUAS INDUSTRIALES DE LA EMPRESA DE ELECTRO-RECUBRIMIENTOS FANTAXIAS LTDA. DE BUCARAMANGA.\***

**MARITZA GAMBOA GUALDRON.**

e-mail: [maquimi2003@yahoo.com](mailto:maquimi2003@yahoo.com)

**LENNY MARITZA QUIROGA E\*\***

e-mail: [lenny14@yahoo.es](mailto:lenny14@yahoo.es)

**PALABRAS CLAVES:** Recubrimiento metálico, aguas residuales, oxidación de cianuros, precipitación de metales, efluentes industriales, cobrizado, latonado, niquelado.

## RESUMEN:

En este trabajo se desarrolló una técnica de precipitación convencional para remover los metales Cu, Ni y Zn presentes en los efluentes de las líneas de cobrizado, latonado y niquelado de una empresa de electro-recubrimientos. El método se aplicó en puntos en donde se detectaron mayores concentraciones de dichos metales, lográndose en todos los casos la precipitación del metal hasta niveles cercanos al 100%.

La experimentación se llevó a cabo mediante pruebas de jarras, en las cuales se evaluaron las cantidades de hipoclorito de sodio necesario, para la destrucción de cianuros, utilizando diferentes volúmenes de exceso de reactivo oxidante. Los resultados mostraron que con un 10% de exceso de reactivo es posible lograr concentraciones de cianuros por debajo de 5 ppm, y concentraciones de metal inferiores a 100 ppm. El tratamiento al final incluyó la adición de un agente floculante comercial, lográndose la completa precipitación de los metales hasta los límites permisibles por la normatividad.

Los lodos producidos durante el tratamiento fueron sometidos a técnicas de análisis químico, Espectroscopia de Infrarrojo, Termogravimetría, Difracción de Rayos X y Toxicidad Característica. Los resultados mostraron que los lodos provenientes de la etapa de oxidación tenían mayor cantidad de metal y eran más estables a condiciones ambientales que los lodos provenientes de la etapa de floculación, también se identificaron compuestos como carbonatos, óxidos e hidróxidos, así como sulfatos provenientes de los baños de recubrimiento.

\*TRABAJO DE GRADO

\*\* FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS. ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA. P.h .D GUSTAVO NEIRA ARENAS. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

## TITLE

**DEVELOPMENT OF PRECIPITATION TECHNIQUE TO REDUCE THE CONTENT OF COPPER, NICKEL AND ZINC PRESENT IN INDUSTRIAL WATERS OF THE ELECTROCOATINGS COMPANY\***

**MARITZA GAMBOA GUALDRON.**  
e-mail: [maquimi2003@yahoo.com](mailto:maquimi2003@yahoo.com)

**LENNY MARITZA QUIROGA E.\*\***  
e-mail: [lenny14@yahoo.es](mailto:lenny14@yahoo.es)

**KEY WORDS:** *Metallic electrocoating, residual waters, cyanide oxidation, metal precipitation, nickel, copper, brass plating.*

### Summary

In this work, a conventional precipitation technique was developed to remove Cu, Ni, and Zn from the effluents of an electro-plating factory. The precipitation method was applied in points where greater concentrations of these metals were detected, achieving in all cases precipitation levels of about 100%.

Experiments were carried out by means of jar tests, in which the amounts of sodium hypochlorite necessary for cyanide destruction were determined, using different volumes of oxidizing reagent. The results showed that a 10% excess of reagent is enough to achieve cyanide concentrations below 5 ppm, and metal ion concentrations inferior to 100 ppm. The final treatment included the addition of a commercial flocculant agent, thus getting a complete precipitation of metals up to levels according to environmental regulations.

Sludges produced during the treatment were examined by chemical analysis, Infrared, Spectroscopy, Thermogravimetry, X-Rays, Diffraction and Characteristic Toxicity. The results showed that the solids produced during the oxidation stage contained higher amounts of metal and were more stable under environmental conditions than those from the flocculation stage. Compound such as carbonates, oxides and hydroxides, the same as sulphates originated from the coating solutions, were identified.

---

\* Grade Work

\*\* *Managing PhD. GUSTAVO NEIRA ARENAS, Universidad Industrial de Santander, Abilityde physiochemical, Bucaramanga, Colombia.*



## INTRODUCCIÓN

Las empresas de electro-recubrimientos, en sus actividades productivas usan disoluciones acuosas de metales pesados las cuales, luego de su utilización deben ser sometidas a un proceso de tratamiento y neutralización con el objeto de disminuir la concentración de estos metales a niveles permisibles.

Frecuentemente, estos efluentes contienen cantidades que deben ser disminuidas a niveles apropiados para la aplicación de técnicas finales de purificación. Con este propósito general, la empresa Fantaxías Ltda, esta desarrollando un proyecto de investigación conjunto con el grupo de investigación en minerales, biohidrometalurgia y ambiente (GIMBA) de la UIS, que busca evaluar la posible aplicación de tecnologías útiles para la descontaminación de los efluentes. En particular se requiere eliminar metales tales como Cu, Ni y Zn, así como cianuros disueltos.

Los procesos desarrollados en la empresa incluyen cobrizado, niquelado y latonado. Como procesos adicionales se encuentran principalmente el desengrase y el decapado. Los efluentes líquidos están constituidos por sales de los diferentes metales involucrados en el proceso, sustancias complejas, tensoactivos, grasas, ácidos y bases, siendo su principal origen los enjuagues de los baños que componen cada etapa.

Este trabajo de investigación tuvo el propósito de brindar una opción de tratamiento viable, para reducir la concentración de metales a niveles permisibles. Con base en la caracterización de los efluentes, se desarrollo una técnica de precipitación aplicable en aquellos enjuagues que contengan mayor concentración de Cobre, Níquel y Zinc, pertenecientes a las líneas de cobrizado, latonado y niquelado, se lograron remociones de hasta el 90% de los metales estudiados.

Un impedimento importante en la remoción de estos metales, es que se presentan en forma de complejos cianurados, y para ello se diseñó una técnica para la destrucción de los cianuros por el método de cloración (hipoclorito de sodio).

Con este método se logró remover hasta un 99% de cianuro, empleando un exceso de 10% de hipoclorito, a temperatura ambiente.

En la aplicación de las técnicas de tratamiento diseñadas en este trabajo, se producen sólidos que contienen los metales precipitados y otros compuestos originados

probablemente de sustancias adicionales disueltos en los efluentes, y de agentes floculantes. Estos sólidos se caracterizaron por medio de análisis como: Espectroscopia de infrarrojo, análisis químico, difracción de rayos X y termogravimetría, encontrándose la formación tanto de compuestos amorfos como cristalinos. Estas características influyen directamente en el nivel de disolución de los sólidos, determinado mediante un ensayo corto de toxicidad característica (TCLP).

Es de vital importancia desarrollar estudios de este tipo, y poner en marcha tecnologías limpias que permitan el aprovechamiento de materiales antes desechados en los vertimientos, aplicando el procedimiento de recuperación adecuado. Tecnologías de este tipo implementadas de manera correcta, minimizan sustancialmente en cantidad y peligrosidad los efluentes de la empresa, además incentiva a otras industrias de electro-recubrimientos manejar sus vertimientos aplicando las opciones de tratamiento existentes.

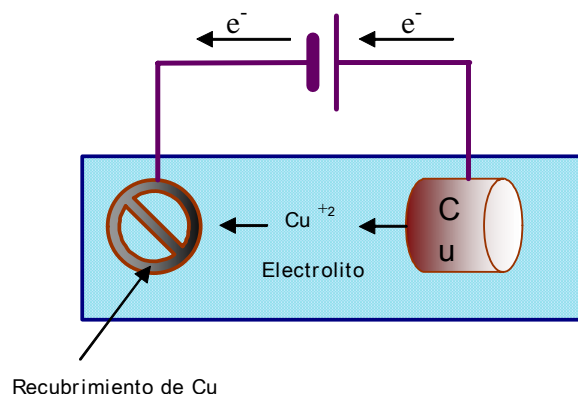
# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 La Industria de Recubrimientos Metálicos.

La industria de los recubrimientos metálicos, entre los que se cuentan los químicos y electrolíticos (también denominados galvánicos), es una rama de la industria metalmeccánica que abarca un conjunto de procesos para depositar una capa metálica sobre la superficie de metales, aleaciones y cuerpos no metálicos con el fin de proteger su superficie (principalmente de la corrosión), obtener una superficie dura, y/o brindar a la pieza propiedades adicionales tales como conductividad, propiedades eléctricas y ópticas etc. Las cuberterías plateadas, los accesorios cromados de automóvil, grifos, cerraduras y los recipientes de comida estañados son productos típicos de esta industria y muchos metales como el cobre, la plata y el oro se refinan mediante procesos electrolíticos <sup>2</sup>.

Los procesos de recubrimiento consisten en la inmersión de las piezas a recubrir en soluciones simples o compuestas de sales del metal recubridor. En los cubrimientos electrolíticos, el electrodo que actúa como cátodo está conectado a un terminal negativo de una fuente de electricidad externa. Otro conductor, compuesto a menudo por el metal recubridor, se conecta al terminal positivo de la fuente de electricidad. Cuando se pasa la corriente a través de la solución, los átomos del metal recubridor se depositan en el cátodo o electrodo negativo. El cátodo es el terminal en el que tiene lugar la reducción y el ánodo es el terminal en que tiene lugar la oxidación, formando oxígeno, como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Celda electrolítica para recubrimiento



El espesor de la capa de recubrimiento depende del tiempo de permanencia en el baño electrolítico, siendo más frecuentes las capas más delgadas, aunque puede variar según el proceso desde 1  $\mu\text{m}$  hasta 2 mm. Para eliminar irregularidades en las depresiones de la placa y asegurar que la textura de su superficie es de buena calidad y propicia para el refinado, hay que controlar cuidadosamente la densidad de la intensidad de corriente (amperios por metro cuadrado de superficie de cátodo) y la temperatura. Con frecuencia se añaden al baño ciertos coloide o compuestos especiales para mejorar la uniformidad de la superficie <sup>12</sup>.

Existen varios tipos de procesos de recubrimientos metálicos, que son fundamentalmente zincado, cromado, niquelado, cobrizado, latonado, estañado, plateado, dorado, cadmado, plomado, fosfatado y anodizado. Los metales de uso más corriente son la plata, níquel, cromo y cobre para fines decorativos, siendo el cromado el revestimiento mas extendido debido a su duración así como a su resistencia a la abrasión y al empañado <sup>7</sup>.

FANTAXIAS Ltda es una empresa santandereana líder en la producción de artículos recubiertos tales como hebillas, herrajes y bisutería fina, a través del uso de técnicas electrolíticas de cobrizado, niquelado, dorado y latonado las cuales definen a su vez las líneas de producción. El proceso general de obtención de recubrimiento está descrito en el Anexo 1. Este se inicia con la recepción, preparación mecánica y pulimento de la pieza a recubrir, la cual debe ser también sometida a neutralizado ó activado con soluciones ácidas o básicas de acuerdo con el tipo de recubrimiento posterior, en el cual el metal se adhiere a la pieza por acción electrolítica. El cobrizado cianurado es el primer recubrimiento de los sistemas multicapas, de gran protección anticorrosivo, que se realizan habitualmente sobre Zamac (aleación de Zinc, aluminio, magnesio y cobre) y / o acero como material base. Los electrolitos de cobre más utilizados son los de base cianurada y de base sulfatada. El niquelado es uno de los procesos más versátiles, utilizado para acabados decorativos, protectores y de ingeniería; mientras el latonado brinda excelente características de brillo, dureza y poder anticorrosivo a las piezas. El dorado es un tratamiento especial en la empresa, usado generalmente para piezas con fines decorativos o en algunos casos para piezas que requieran una gran resistencia a la corrosión y oxidación. Después del tratamiento con las sales en el electrolito de recubrimiento, sumergen las piezas en un tanque con agua para eliminar los arrastres procedentes del baño anterior y emplear la solución formada para reponer las pérdidas por derrame o evaporación. Posteriormente, para dejar la pieza libre de residuos de las sales de recubrimientos se enjuagan en tanques con agua por inmersión. Finalmente se secan para eliminar el agua residual proveniente de los enjuagues y evitar que el producto salga con manchas para luego lacar si se requiere <sup>9</sup>.

## 1.2 Efluentes de La Industria de Electro- Recubrimientos.

La industria de depósitos electrolíticos (galvánicos), por su naturaleza química y eléctrica, es una fuente de generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Entre estos, la mayor carga contaminante y el mayor volumen de residuo (debido a la alta dilución) son generados por las aguas de lavado.

Los principales componentes tóxicos de los residuos líquidos generados son:

- Los cianuros, como acomplejantes de los iones metálicos. Se utiliza en baños de zinc, cobre, plata y oro como acomplejante de los metales y puntualmente en desengrases.
- Los metales pesados en forma iónica o compleja, como electrolitos en los baños. Importantes debido a la alta toxicidad de metales no féreos como Ni, Cr, Cu, Ag y Zn. Incluyen los baños agotados de metalizado, que tienen una bajísima frecuencia de cambio y los lodos del tratamiento de las aguas residuales, que contienen níquel, cobre, zinc o estaño.
- Ácidos (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>).
- Aditivos varios, entre los cuales pueden estar abrillantadores, sustancias tampón, estabilizadores, humectantes, acomplejantes y purificadores.

Las aguas residuales que contienen los metales disueltos deben ser sometidos a procesos de purificación, generando sólidos ó lodos cuyas características van depender del sistema de tratamiento del que procedan, del grado de desecación y de la forma en que se ha llevado a cabo el secado de dicho lodo. Es deseable alcanzar el mayor grado de desecación posible tanto desde un punto de vista económico (el traslado de sedimentos líquidos es muy costoso) como desde un punto de vista medioambiental (se ha demostrado a través de estudios de la E.P.A. -Environmental Protection Agency- que los sedimentos más secos tienen menos posibilidades de disolver -lixiviar- los metales tóxicos cuando se les somete a ensayos de ecotoxicidad).

Los hidróxidos metálicos precipitados, después de ser sedimentados en el clarificador o en el tanque depósito, necesitan de un tratamiento posterior para que sea posible su disposición sin que tengan que ser manejadas grandes cantidades de agua.

### 1.3 Tratamiento de Las Aguas Residuales.

Los residuos englobados en este sector de recubrimientos metálicos provienen de procesos cuyas materias primas están conformadas básicamente de ácidos, bases y sales de los metales a depositarse. En muchos casos, es posible la recuperación de los metales de los residuos, con el consiguiente ahorro de materias primas y la reducción del carácter tóxico de esos residuos primarios.

Entre los procesos para remoción de metales encontrados en la literatura es importante citar la precipitación química, el intercambio iónico, la adsorción sobre diferentes materiales y procesos electroquímicos de recuperación, los cuales remueven los metales de los vertimientos contaminados y en algunos casos permiten su recuperación. Estos actúan solos o en conjunto, integrados con operaciones y procesos típicos de plantas de tratamiento para completar la remoción de estos y otros contaminantes o permitir las condiciones más adecuadas para que ésta se realice: homogenización, neutralización, coagulación, floculación, sedimentación y filtración. De igual manera, con el propósito de permitir la remoción de otros contaminantes tóxicos, se incluyen en el tratamiento diferentes procesos, como la eliminación de cianuros.

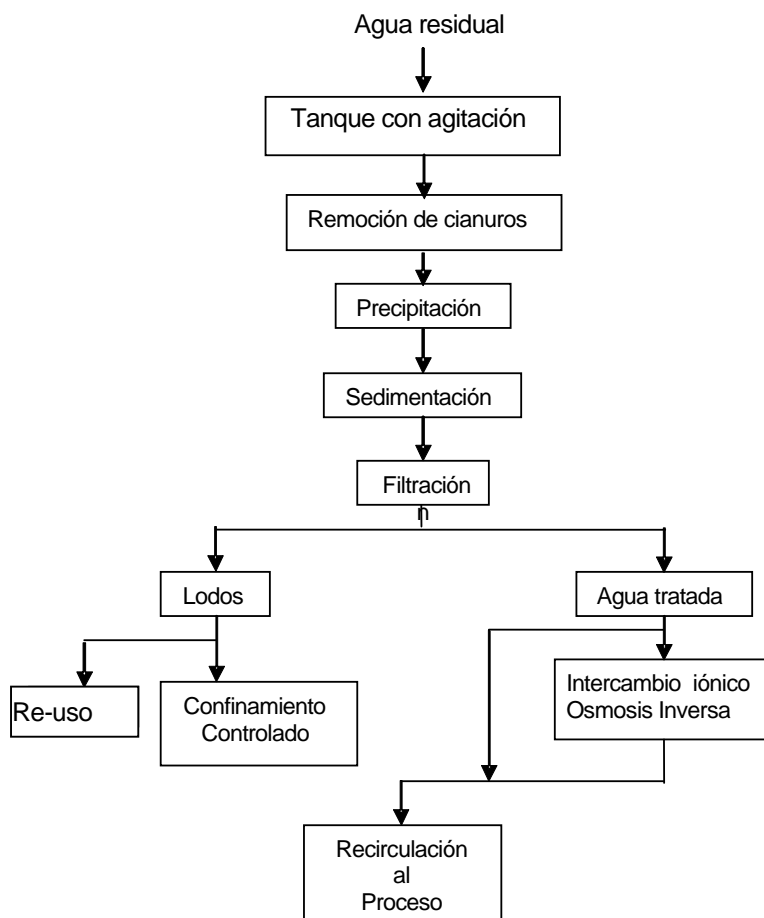
El tratamiento químico de los efluentes puede efectuarse en continuo (siempre que se respete el tiempo de retención mínimo que requiere la reacción) o por cochadas. El tratamiento en continuo requiere que la concentración de los contaminantes a eliminar sea reducida y constante para garantizar el control de la reacción. En la Figura 2 se muestra una secuencia de las operaciones más importantes que se deben contemplar en el tratamiento físico-químico de las aguas residuales del tipo de industria estudiada en este trabajo.

Como se dijo antes, el origen de los efluentes son las aguas de enjuague de los baños y los tratamientos involucrados en el recubrimiento completo. Generalmente, para su tratamiento estos efluentes se dividen en:

- Efluentes con cianuros, los cuales requieren oxidación para su remoción. Por ser un acomplejante importante, su remoción ha de ser una de las primeras etapas, de manera que no interfiera acomplejando posteriormente los metales antes de su tratamiento.
- Efluentes con níquel, los cuales se separan en algunas ocasiones debido a que precipitan en mayor cantidad a condiciones de pH diferentes a las de otros metales.

- Efluentes con metales convencionales, los cuales pueden ser precipitados como hidróxidos en los rangos convenientes de pH.

**Figura 2. Operaciones más importantes de un proceso físico-químico de tratamiento aguas residuales de una empresa con líneas de recubrimientos electrolíticos <sup>12</sup>**



En la Tabla 1<sup>6</sup> se consignan las principales tecnologías disponibles para la remoción de metales en los efluentes industriales. La precipitación y la adsorción sobre diferentes materiales han sido ampliamente utilizadas para la remoción de metales y otras sustancias contaminantes. Entre los materiales más usados como medio adsorbente se cuentan el carbón activado, las zeolitas y las cenizas. En vista de los grandes volúmenes de efluentes generados, y las elevadas concentraciones de metales que se pueden alcanzar, en este trabajo de investigación se escogió la precipitación convencional como método a ser ensayado para el tratamiento de las aguas industriales de Fantaxías Ltda.

**Tabla 1. Tecnologías para la remoción de metales pesados**

Precipitación convencional	Hidróxido
	Sulfuro
	Carbonato
	Coprecipitación
Precipitación mejorada	Dimetiltiocarbamato
	Dietiltiocarbamato
	Trimercapto-s-triazina
Otros métodos	Intercambio iónico
	Adsorción
Oportunidades de recuperación	Intercambio iónico
	Membranas
	Técnicas electrolíticas

### **1.3.1 Oxidación de Complejos Cianurados** <sup>19,20</sup>

#### **1.3.1.1 Alternativas de Tratamiento**

Los vertimientos de las plantas galvánicas contienen cianuros simples de sodio y potasio, cianuros complejos de cobre, zinc, cadmio, hierro y otros, provenientes de los lavados de las piezas y de la reposición de los baños electrolíticos de los procesos galvánicos de recubrimiento de cobre, zinc y cadmio<sup>14</sup>.

La oxidación de cianuros, es considerada como un pretratamiento para remover sustancias que puedan interferir con la precipitación de los metales <sup>6</sup>, ya que forman complejos con algunos metales, limitando la remoción que puede ser conseguida por precipitación. Existen varias alternativas para lograr la remoción de cianuros, cuyas principales características se presentan en el Anexo 2.

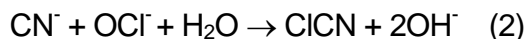
#### **1.3.1.2 Tratamiento con hipoclorito de Sodio.**

Los métodos de tratamiento más factibles desde el punto de vista técnico - económico, continúan siendo los métodos de remoción de cianuros con reactivos químicos, especialmente el método de cloración (con hipoclorito de sodio), por lo

cual fue seleccionado para el tratamiento de los residuales de la planta Fantaxías Ltda. La reacción con el hipoclorito de sodio ocurre en dos etapas, que se pueden representar mediante la reacción global (1):



En una primera etapa, el hipoclorito oxida el cianuro a cianato (reacciones 2 y 3). Esta reacción es más completa y rápida a un pH alcalino (10 - 11). Se admite un periodo de oxidación de 30 minutos a 1 hora y debe procurarse una buena agitación para evitar la formación de partículas de cianuros insolubles. Además, el cianato resultante es mucho menos tóxico que el cianuro.



Esta reacción debe efectuarse en medio alcalino para evitar el desprendimiento del cloruro de cianógeno (gaseoso). El cloruro de cianógeno es muy soluble en agua (aproximadamente 25 L de CICN por cada litro de agua a 20 °C). Cuando se aumenta la temperatura de la disolución, el gas aumenta de forma importante su presión de vapor y por encima de 50 °C puede ser sumamente peligroso por producirse su desprendimiento. A concentraciones del orden de 25 mg/m<sup>3</sup> tiene efectos lacrimógenos y a concentraciones de 400 mg/m<sup>3</sup> es mortal en pocos minutos. La reacción de esta etapa es exotérmica y cabe esperar un incremento de temperatura de aproximadamente 5 °C para soluciones conteniendo hasta 1 g/L de ClO<sup>-</sup>. A mayores concentraciones, del orden de 5 g/L, el incremento de temperatura puede alcanzar los 20 °C.

A través de la reacción de hidrólisis (3), el cianuro queda completamente destruido pasando a forma cianato. La velocidad de la hidrólisis es función del pH del medio, el exceso de hipoclorito presente y la temperatura. El potencial de óxido reducción cambia abruptamente (unos 50 mV) cuando todo (o casi todo) el cianuro pasa a la forma cianato, de modo que es aconsejable operar a un potencial oxidante de unos 250 mV, agregando hipoclorito de sodio hasta obtener el potencial adecuado

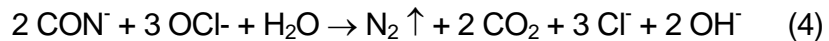


En la práctica se trabaja a un pH superior a 10.5, siendo recomendable mantenerlo alrededor de 11. La temperatura deberá mantenerse no inferior a 18 °C, con un

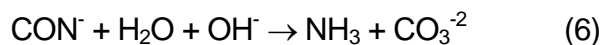
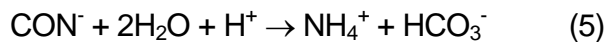
exceso de hipoclorito del 5% como mínimo. En estas condiciones, con un tiempo de reacción de entre 30 y 60 minutos, puede garantizarse la destrucción de los cianuros.

El cianato que se forma es poco tóxico. Sin embargo, es preferible proseguir la reacción y descomponer el cianato en anhídrido carbónico y nitrógeno en la siguiente etapa.

En la segunda etapa se logra la oxidación completa a dióxido de carbono y nitrógeno (4), puede realizarse en una unidad separada con su control de pH y reactivos independiente.

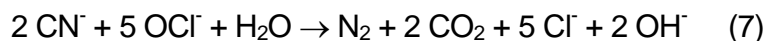


Esta reacción es muy lenta en medio muy alcalino (20 horas a pH entre 10 y 12) y se requiere un elevado exceso de hipoclorito para completar la oxidación. A valores de pH de 8.5 la reacción es relativamente rápida con un tiempo de retención de 1 hora. Paralelamente a esta oxidación tienen lugar las siguientes reacciones de hidrólisis:



La reacción es bastante rápida a valores ácidos (aproximadamente 10 minutos a pH entre 2 y 3). Esta reacción de hidrólisis con formación de amoníaco o sales amónicas, según el pH, debe tenerse muy en cuenta especialmente cuando los cianuros están asociados a metales bivalentes que pueden formar complejos aminados que no se eliminan por precipitación como hidróxidos. Por esta causa es recomendable efectuar la oxidación de los cianatos a un pH no inferior a 8 para evitar su rápida hidrolización.

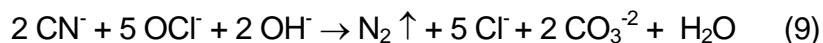
De esta manera, la reacción total de destrucción es:



Como el medio es alcalino:



Por tanto:



El consumo de hipoclorito sódico es usualmente un 5% mayor que el dado por los cálculos estequiométricos. Ese exceso es consumido por la oxidación de materia orgánica y aumento de las valencias de los metales en disolución. El potencial de óxido-reducción deberá ser de unos 300 mV, la cinética de esta reacción es ligeramente superior a la primera <sup>15</sup>.

Como recomendaciones adicionales del proceso se tienen:

Evitar al máximo la mezcla de aguas residuales cianuradas con aguas alcalinas de altos contenidos de materia orgánica (DQO) para prevenir la generación de compuestos organoclorados peligrosos (AOX).

A partir de una concentración mayor de 10 g/L de cianuro, debe dosificarse el hipoclorito con precaución para evitar un repentino incremento de temperatura.

### **1.3.2 Neutralización ó Precipitación Química.**

Se basa en la utilización de reacciones químicas (por lo general controlando pH con hidróxido de sodio o cal) para la obtención de productos de muy baja solubilidad. La especie contaminante a eliminar pasa a formar parte de esa sustancia insoluble, que precipita y puede ser separada por sedimentación y filtración. El cianuro va a interferir con la habilidad del sistema para remover los metales disueltos. Estos tipos de aguas residuales crudas deben ser tratados antes de que entren a este sistema.

La precipitación con pH alto es un proceso que incluye la adición de químicos que aumentan drásticamente el pH hasta alrededor de 12, causando un cambio en el equilibrio de disociación del complejo y dando como resultado la producción de iones libres del metal. Los iones del metal pueden entonces ser precipitados por los iones de hidróxidos disponibles y removidos por sedimentación o filtración<sup>22</sup>.

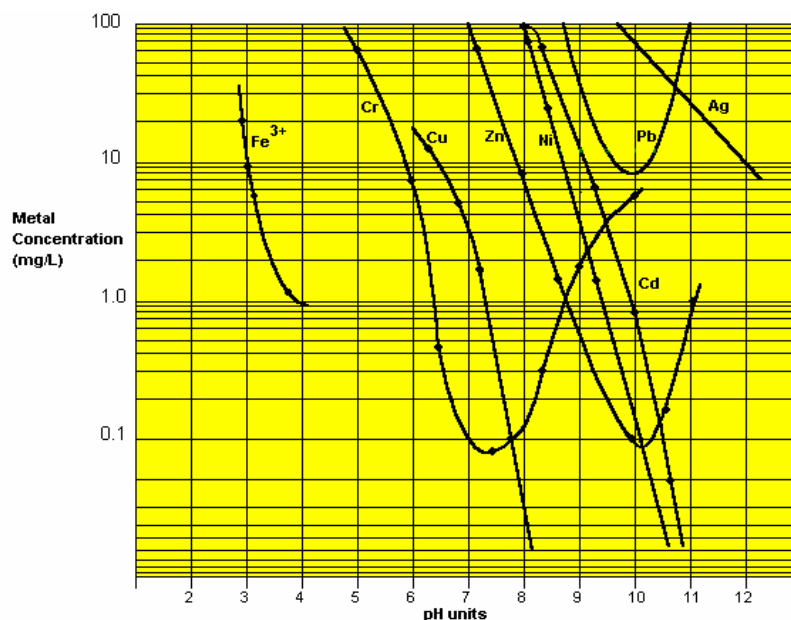
La neutralización responde a un doble motivo: por un lado debe llevar las aguas residuales a un pH que no presente ningún peligro para los procesos biológicos y por otro lado, la neutralización debe convertir los metales pesados en hidróxidos insolubles o sus sales básicas, para eliminarlos de las aguas residuales. A continuación se presenta una lista como se muestra en la Tabla 2, con el rango de pH al cual se presenta una solubilidad mínima en agua para metales comunes en esta industria <sup>6</sup>, en la Figura 3 se muestra la solubilidad de diferentes metales en función del pH <sup>6</sup>.

**Tabla 2. Rango de pH a la cual se presenta la solubilidad mínima de metal**

Elemento	pH
Aluminio	6 – 8
Cadmio	10.5
Cromo	7 – 8
Cobre	7.5
Níquel	10.5
Zinc	9 – 11

Los precipitantes más comunes incluyen  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{S}^{2-}$ . Sin embargo, la precipitación de hidróxidos es el método más usado de eliminación de metales pesados de las aguas residuales <sup>6</sup>.

**Figura 3. Diagrama de solubilidad de diferentes metales en función del pH**



Algunas recomendaciones para optimizar la neutralización y precipitación de los metales pesados, empleando principalmente hidróxido de sodio, lechada de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) u otros reactivos, son las siguientes:

- La precipitación de los metales pesados como compuestos hidróxidos de baja solubilidad mediante hidróxido de sodio es el proceso más sencillo y económico. Este tratamiento es adecuado para talleres que trabajan con zinc ácido y pasivados. Sin embargo, puede ser insuficiente en líneas que incluyen operaciones de niquelado y cobrizado.
- La precipitación mixta con hidróxido de sodio y lechada de cal incrementa la eficiencia del proceso, puesto que la cal mejora la precipitación y floculación, aún cuando contribuye a generar mayor cantidad de lodo. Por lo general se dosifican el hidróxido de sodio y la lechada conjuntamente o se dosifica primero la lechada hasta pH 6 y se afina aportando NaOH.
- El empleo de sulfuros (como  $\text{Na}_2\text{S}$  u organosulfurados) es necesario si no se cumplen con los límites mínimos de descarga, por lo general de níquel, debido a la presencia de complejos.

El paso final en la eliminación de metales por precipitación involucra el uso del coagulante- floculante cuyo fin es lograr aglomerados de partículas coloidales que unidas entre sí alcanzan un peso que las hace sedimentables por gravedad. La floculación es estimulada por un mezclado lento que agrupa poco a poco los flóculos; sí el mezclado es muy intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptima. Además de incrementar el tamaño de las partículas del flóculo, este proceso también afecta la naturaleza física en los lodos y las lechadas floculadas, desecándose con mayor rapidez en virtud de la estructura gelatinosa del flóculo<sup>1</sup>.

#### **1.4 Normatividad Ambiental**

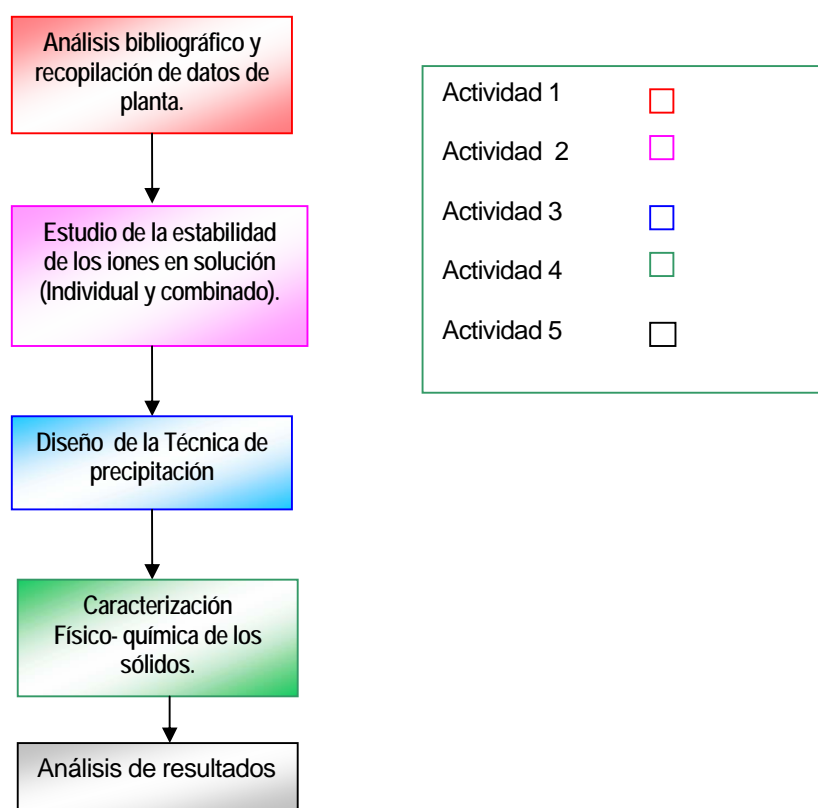
La normatividad vigente para los efluentes de una empresa de recubrimientos metálicos se consigna en el decreto 1594 de 1984 artículo 74 y está regulada con la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga

(CDMB). En el Anexo 3 se presentan los estándares de cumplimiento para vertimientos de residuos líquidos, en lo relacionado con las concentraciones máximas permisibles de los metales de interés a este trabajo (Cu, Zn y Ni).

## 2. METODOLOGÍA

En la Figura 4 se presenta un diagrama de bloques con la metodología que se cumplió en este trabajo de grado, cuyas principales actividades se explican a continuación.

**Figura 4. Etapas propuestas en la metodología para el cumplimiento de los objetivos del trabajo.**



### ACTIVIDAD 1.

#### Revisión Bibliográfica y Visita y recopilación de datos de la empresa Fantaxías Ltda.

La revisión bibliográfica, consistió en la recopilación de la posible información encontrada tanto en libros, pagina de Internet, tesis de grado, revistas, boletines y

memorias de conferencias relacionadas con este sector industrial. También en esta fase se llevó a cabo la revisión del proceso industrial en la empresa Fantaxías.

Con la visita a la empresa, se buscó establecer e identificar los sitios puntuales en donde se están haciendo los diferentes baños y donde se presentó mayor concentración de cobre, níquel y zinc; además se solicitó información sobre la ficha técnica en cada recubrimiento metálico, operatividad y distribución final de estos residuos.

### **ACTIVIDAD 2. Estudio de la estabilidad de los iones en solución (individual y combinado).**

En esta actividad por medio de los diagramas de pourbaix (Anexo4), se determinaron los rangos de pH, en los cuales los iones metálicos de Cu, Ni y Zn son estables a temperaturas constantes, con el fin de establecer las condiciones de precipitación más apropiadas.

### **ACTIVIDAD 3. Diseño de la técnica de precipitación para reducir el contenido de cobre, níquel y zinc**

***Etapa 1:*** Elección y evaluación de la técnica de precipitación más apropiada para la aplicación en la empresa FANTAXIAS LTDA .

En esta actividad se llevó a cabo la elección y evaluación de la técnica de precipitación de Cu, Ni y Zn apropiada para los efluentes en estudio, teniendo en cuenta aspectos como: La concentración de los metales en cada efluente, la economía del proceso de precipitación, las condiciones físicas.

***Etapa 2:*** Oxidación de los cianuros presentes en el vertimiento industrial.

Se llevó a cabo la aplicación en el laboratorio el método de cloración alcalina a muestras provenientes de la líneas de cobrizado y latonado de la empresa. Se determinó la cantidad inicial del cianuro destilando la muestra en medio ácido y luego titulando con nitrato de plata (Equipo marca titrino metrohm 751GPD). Conocida ya su concentración inicial, en un determinado volumen se procedió a la oxidación en medio alcalino con agitación de 150 rpm, el volumen necesario de reactivo oxidante (hipoclorito de sodio comercial), se obtuvo de los cálculos estequiométricos para la reacción global de la oxidación de cianuros. Con el fin de asegurar la oxidación del

cianuro se realizó el seguimiento del potencial oxido-reducción a la reacción por medio de un electrodo de platino y uno de referencia Ag/AgCl 3.5M y conectados a un multímetro HC 3500 T.

Este proceso generó un lodo precipitado que fué objeto de estudio por diversas técnicas descritas en la actividad 4, mientras el clarificado se sometió al proceso de neutralización.

***Etapa 3: Determinación de las condiciones adecuadas de precipitación en el laboratorio.***

En esta etapa se prepararon soluciones sintéticas de Cu, Ni y Zn a partir de  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnCl}_2$  y  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . De concentraciones similares a las del efluente real, y luego con NaOH 2M se ajustaron las muestras a un rango de pH (teniendo en cuenta los diagramas de solubilidad), y en determinados intervalos de tiempo se caracterizaron las muestras mediante la técnica de espectroscopia de absorción atómica (espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 2380, equipado con la respectiva lámpara de cátodo hueco y un flujo de aire-acetileno), de esta forma se establecieron el tiempo y el pH adecuados para precipitar los metales.

***Etapa 4: Aplicación de la técnica de precipitación elegida para los efluentes de la empresa.***

Se escogieron como puntos de muestreo los enjuagues de las líneas de cobrizado, latonado y niquelado que presentaban mayores concentraciones de metales, en cada muestreo se tomó un tamaño de 2 L de efluente, y se determinaron las concentraciones iniciales de metales y cianuros, pH iniciales y temperaturas.

La técnica de precipitación elegida se aplicó en aquellos efluentes que provenían del tratamiento de oxidación, se neutralizó a un pH adecuado obtenido en la etapa 3, y finalmente se adicionó un agente floculante que logró mayor remoción de metal. Este procedimiento dió lugar a un precipitado que fue sometido a técnicas de análisis indicados en la actividad 4.

**ACTIVIDAD 4: Determinación las características físico-químicas de los sólidos producidos.**

En esta parte de la investigación se llevó a cabo la caracterización de los sólidos precipitados; estos residuos se separaron del clarificado mediante filtración y se

llevaron a secado en una estufa a 60°C con circulación de aire durante 24 horas. Una vez secos, los sólidos fueron sometidos a técnicas de análisis químico, difracción de rayos X, espectroscopia de infrarrojo, análisis termogravimétrico y ensayos de toxicidad característica.

#### **ACTIVIDAD 5: Análisis de resultados**

En esta actividad se analizaron los resultados arrojados por el tratamiento propuesto y la caracterización físico- química realizada en las actividades anteriores.

### 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Inicialmente se muestran los resultados de la caracterización de los vertimientos de cobre, níquel y zinc. Posteriormente se explica cada etapa del tratamiento a seguir para cada línea de producción (cobrizado, latonado y niquelado).

Finalmente se describe el procedimiento del análisis químico y de toxicidad característica, desarrollado en el laboratorio para los residuos originados en cada etapa de tratamiento.

**3.1 Caracterización de los efluentes de la planta de producción.** La planta de producción de la empresa Fantaxías Ltda consta básicamente de tres líneas, definidas por el tipo de recubrimiento que se realiza e cada una de ellas: Línea de cobrizado, línea de Latonado, línea de Niquelado.

**Tabla3. Resultados de la Concentración de Cu, Ni, Zn y Cianuros con su respectivo punto de vertimiento**

Punto de Muestra	Cianuros ( ppm )	pH (Unidades de pH )	Cobre ( ppm )	Níquel ( ppm )	Zinc ( ppm )
1	0	11,33	1,94	0,45	0,25
2	0	6,98	2,42	2,20	35,48
3	963,68	10,08	742,97	5,76	0,52
4	0	2,75	2,60	1,80	2,36
5	0	7,28	1,09	155,44	0,22
6	132,44	9,39	0,26	3,43	0,16
7	0	11,87	2,63	1,52	0,23
8	0	3,10	16,75	1,26	2,30
9	0	10,00	449,57	40,08	60,79
10	2472,78	10,27	2024,07	12,27	711,36
11	0	6,67	1,60	1060,52	1309,66

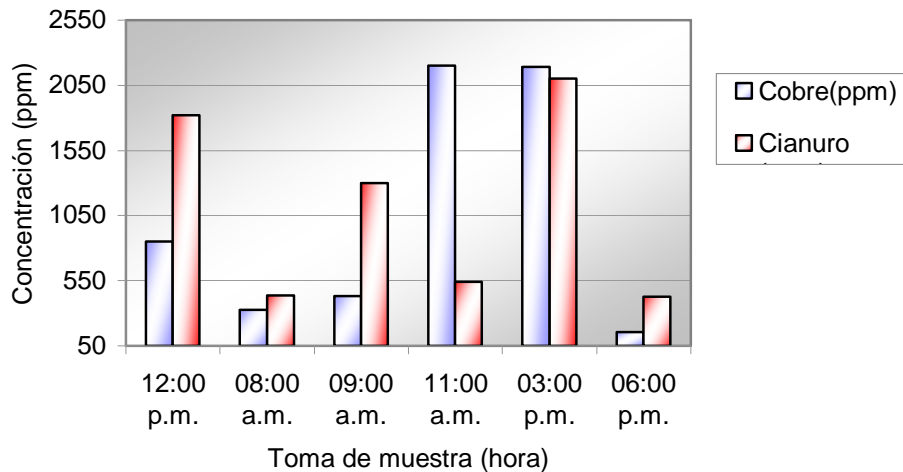
Como punto de partida para este trabajo, se consideró los resultados de un estudio de caracterización previo<sup>8</sup>, cuyos resultados de concentración de Cu, Ni y Zn se muestran en la tabla3. Las muestras fueron tomadas en diferentes puntos de la planta como se muestra en el Anexo 8.

En general, todos los puntos de muestreo reportaron valores de concentración de metales muy por encima de los límites permisibles, los cuales aumentaron en gran medida cuando los baños correspondientes estaban en operación. De la misma manera, las concentraciones de cianuro fueron muy elevadas en las líneas de cobrizado y latonado, haciendo evidente la necesidad de remover este anión previo a la precipitación debido a su efecto acomplejante e interferente en el proceso de eliminación del metal.

**Tabla 4. Resultados del muestreo de efluentes en las líneas de producción de Fantaxías Ltda.**

LÍNEA	PUNTO DE MUESTRA	FECHA /2006	HORA	Cu (ppm)	CN (ppm)
COBRIZADO	3	8 DE JULIO	12:00 PM	850	1820
	3	17 DE JULIO	8:00 AM	326	437
	3	26 DE JULIO	9:00 AM	430	1300
	3	8 DE AGOSTO	11:00 AM	2201.74	540
	3	28 DE AGOSTO	3:00 PM	2191.08	2100
	3	30 DE AGOSTO	6:00 PM	153	425.73

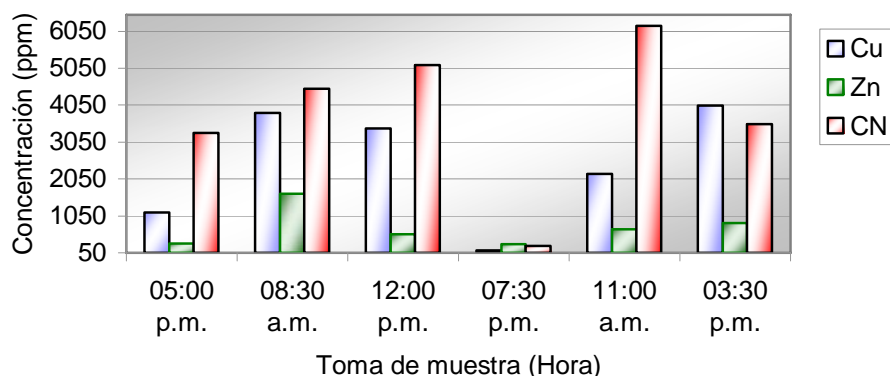
**Figura 5. Variaciones de las concentraciones de cobre y cianuro de acuerdo con la hora de toma de la muestra en FANTAXÍAS Ltda.**



**Tabla 5. Resultados del muestreo de efluentes en las líneas de producción de Fantaxías Ltda.**

LÍNEA	PUNTO DE MUESTRA	FECHA /2006	HORA	CU ( ppm )	Zn (ppm )	CN ( ppm )
LATONADO	10	11 DE JULIO	5:00 PM	1150	300	3300
	11	19 DE JULIO	8:30 AM	3847.45	1647.79	4500
	11	31 DE JULIO	12:00 AM	3412.67	558.28	5139.55
	10	25 DE AGOSTO	7:30 PM	109.18	290.035	235.63
	11	28 DE AGOSTO	11:00 AM	2183.45	681.81	6200
	10	1 DE SEPTIEMBRE	3:30 PM	4045	863	3534

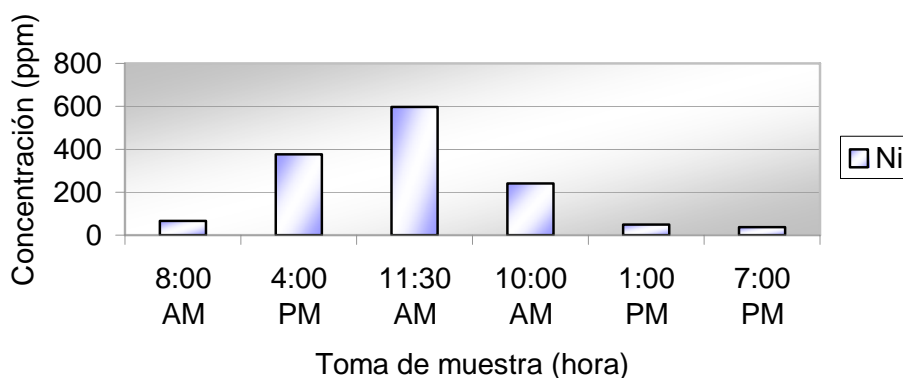
**Figura 6. Variaciones de las concentraciones de cobre, Zinc y cianuro de acuerdo con la hora de toma de la muestra en FANTAXÍAS LTDA.**



**Tabla 6. Resultados del muestreo de efluentes en las líneas de producción de Fantaxías Ltda.**

LÍNEA	PUNTO DE MUESTRA	FECHA /2006	HORA	Ni (ppm)
NIQUELADO	5	5 DE JULIO	8:00 AM	65.65
	5	8 DE JULIO	4:00 PM	376
	5	11 DE AGOSTO	11:30 AM	596.65
	5	25 DE AGOSTO	10:00 AM	242
	5	28 DE AGOSTO	1:00 PM	49.35
	5	1 DE SEPTIEMBRE	7:00 PM	39

**Figura 7. Variaciones de las concentraciones de Níquel de acuerdo con la hora de toma de la muestra en FANTAXÍAS LTDA.**



En la Figura 5 se observa que las concentraciones tanto de cianuro como de cobre son disímiles en cada día y hora de muestreo, aunque a las 3: 00 p.m se registró una mayor concentración de ambos (CN y Cu). Esta muestra corresponde al momento en el cual se sumergían las piezas. Aunque según la revisión bibliográfica se sugiere un tanque de homogenización total, de acuerdo con estos resultados, eso es descartable ya que no se garantizaría la máxima remoción de los metales presentes, y además se reunirían vertimientos de los baños dorado y Niquelado, los cuales formarían complejos de Níquel que requieren un tiempo demasiado largo para su destrucción. Además, es posible que los lodos generados sean altamente contaminantes y muy difíciles de analizar. Lo que se sugiere en este caso es disponer un tanque de homogenización para cada proceso, y así garantizar la efectividad del tratamiento. Para los lodos generados, sería conveniente encontrar en una posterior investigación, algún tratamiento de recuperación (si es posible) y así no generar daño alguno al medio ambiente.

### **3.2 Diseño y Aplicación de La Técnica de Precipitación.**

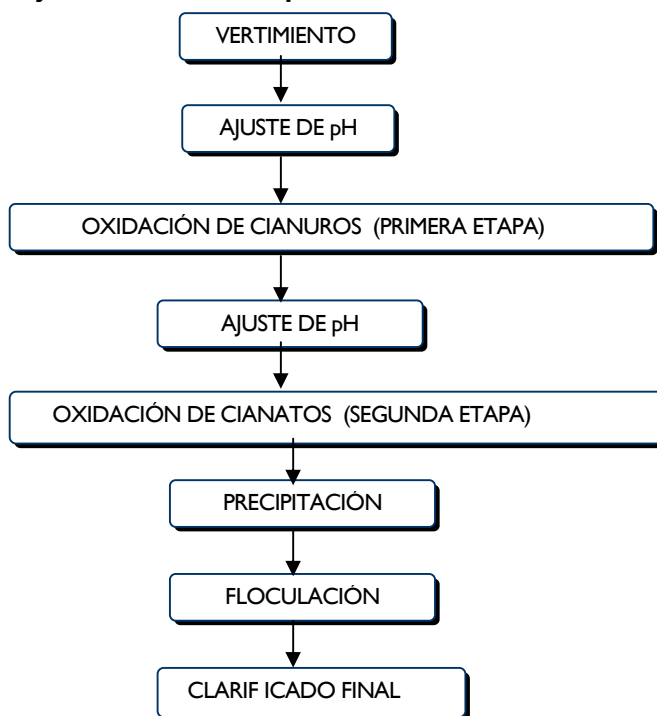
Con base en la caracterización de los efluentes de cada línea de producción, llevada a cabo en la actividad previa, y también en la literatura revisada, se procedió a diseñar y probar una técnica de tratamiento apropiada para cada línea de operación. Las técnicas diseñadas se basan en tratamientos convencionales, de los cuales se posee amplia información, empleando reactivos comerciales accesibles y económicos como NaOH y el hipoclorito de sodio. Una vez diseñada, la técnica de tratamiento fue ensayada y depurada con soluciones sintéticas de Cu, Zn y Ni preparadas en

laboratorio antes de ser aplicadas a efluentes reales. A continuación se presenta el desarrollo de la técnica.

### 3.2.1 Técnica de precipitación para la línea de cobrizado.

El tratamiento diseñado, que se basa en técnicas convencionales, se presenta en el diagrama de la Figura 8.

**FIGURA 8. Diagrama de flujo del tratamiento aplicado la línea de cobrizado**



En la tabla 7 se resumen las condiciones específicas de cada etapa del tratamiento diseñado, junto con algunas situaciones que pueden presentar durante su aplicación.

**TABLA 7 Condiciones y características de la opción de tratamiento diseñada para el vertimiento en el punto 3 (cobrizado) volumen de muestra = 500mL**

<b>Etapa</b>	<b>Condiciones</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Ajuste de pH</b>	pH inicial: 10.1 T= 18.6°C Reactivo: Hidróxido de Sodio (NaOH) 2M. Volumen para conseguir el ascenso de pH: 5mL. Velocidad de agitación: Constante pH final : 11 - 12	Se realiza por el tiempo necesario hasta que el pH se estabilice completamente.
<b>Oxidación de cianuros (primera etapa)</b>	Reactivo: Hipoclorito de sodio (NaOCl), Tiempo: 45 minutos Velocidad de agitación: 150 rpm	producto comercial, dosificado tal y como se comercializa, en un exceso de 10%
<b>Ajuste de pH</b>	pH inicial: 11.05 Reactivo: Ácido Nítrico (HNO <sub>3</sub> ) – 65%. Volumen de ácido Nítrico: 0.75m L Velocidad de agitación: Constante pH final: 8.2 - 8.5	El tiempo necesario para que el pH se estabilice.
<b>Oxidación de cianatos (segunda etapa)</b>	Reactivo: Hipoclorito de sodio (NaOCl), Tiempo: 60 minutos Velocidad de agitación: 150 rpm	Producto comercial, dosificado tal y como se comercializa.
<b>Ajuste de pH</b>	pH inicial : 8.5 Reactivo: Hidróxido de sodio (NaOH) 2M. Volumen: 12 mL para conseguir el incremento de pH (400 mL de muestra). Velocidad de agitación: Constante pH final: 11.5	Se pretende la formación de hidróxidos de cobre El tiempo es el necesario para que el pH se estabilice.
<b>Floculación</b>	Reactivo: RAPIFLOC Volumen : 1.6 mL ( Se agrega en solución 1:1 , según la cantidad de agua residual a tratar en este caso se utilizó 400mL) Mezcla rápida: Tiempo 3 minutos Velocidad de agitación: 100 rpm Mezcla lenta: Tiempo 2 minutos Velocidad de agitación: 40 rpm Sedimentación Tiempo :20 minutos pH final :10	La proporción de lodos formada fue aproximadamente 100ml

En las Tablas 8 y 9 presentan los resultados y los detalles experimentales de las dos etapas de oxidación de cianuros, para asegurar que la reacción de oxidación se lleve a cabo, en cada etapa se hizo seguimiento del potencial, con un electrodo de Ag/AgCl 3.5M y un multímetro HC 3500 T. Así que, en la primera etapa de oxidación el

potencial debe llegar a 286 mV y en la segunda etapa 336 mV (con referencia a calomel) como mínimo. Estos experimentos se llevaron a cabo en un ensayo de jarras, en cada una de las cuales se depositó un volumen de 0.5 L de efluente, con una concentración inicial de cobre de 850 ppm, y de cianuro de 1820 ppm. A cada una de las jarras se agregó un exceso determinado de hipoclorito de sodio para lograr la oxidación de cianuro. El seguimiento de las etapas de oxidación de los cianuros se llevó a cabo a través de medidas potenciométricas, cuyos resultados se muestran en la Figura 9. Se considera que el cianuro pasa a cianato con 20 mL de hipoclorito, alcanzando niveles de potencial superiores a 300 mV, y el cianato pasa a CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> cuando el potencial supera los 400 mV.

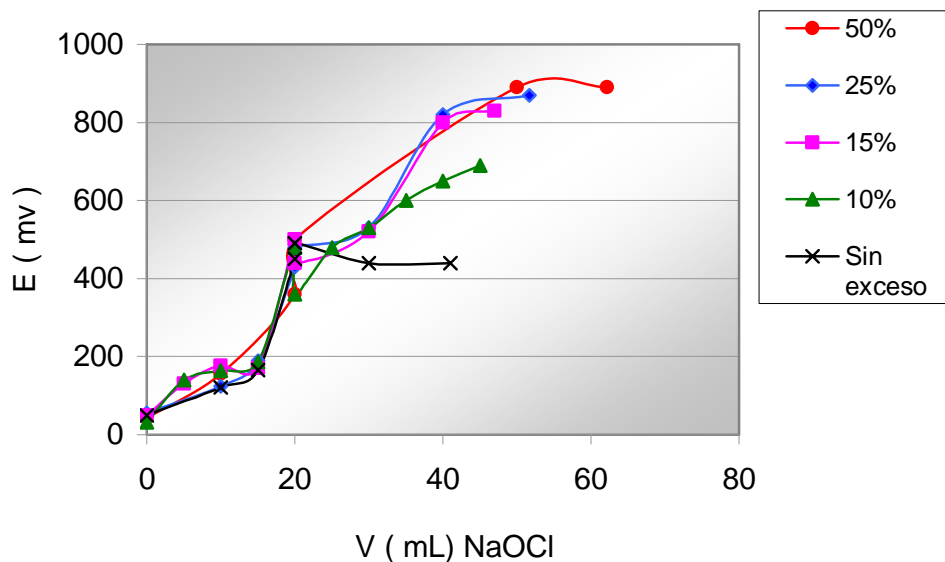
**Tabla 8. Condiciones experimentales de la primera etapa de la oxidación de cianuros para la línea de cobrizado (pH inicial = 11.5 y un volumen hipoclorito de sodio = 20mL.**

	Jarra 1 (0.5L)	Jarra 2 (0.5L)	Jarra 3 (0.5 L)	Jarra 4 (0.5 L)	Jarra 5 (0.5 L)
Reactivo para cambio de pH	Hidróxido de sodio	Hidróxido de sodio	Hidróxido de sodio	Hidróxido de sodio	Hidróxido de sodio
Exceso de hipoclorito de sodio	50%	25%	15%	10%	Sin Exceso
Características del clarificado	Color agua marina	Color agua marina	Color agua marina	Color agua marina	Color agua Marina

**Tabla 9. Condiciones experimentales de la segunda etapa de oxidación de cianuros para la línea de cobrizado (pH inicial = 8.3)**

	Jarra 1 (0.5L)	Jarra 2 (0.5L)	Jarra 3 (0.5L)	Jarra 4 (0.5 L)	Jarra 5 (0.5 L)
Exceso de hipoclorito de sodio	50%	25%	15%	10%	Sin Exceso
Volumen de hipoclorito de sodio (solución de concentración adecuada)	42.9mL	31.7mL	27 mL	25 mL	21 mL
Características del clarificado	Mayor turbiedad	Mayor turbiedad	Color Agua Marina más oscuro	Mayor turbiedad	Mayor Turbiedad
Características del Floc formado	Lodo más oscuro	Lodo más oscuro	Gran cantidad de flóculos con muy baja velocidad de sedimentación	Gran cantidad de flóculos con muy baja velocidad de sedimentación	Gran cantidad de flóculos con muy baja velocidad de sedimentación
pH final	8.87	8.85	8.57	8.54	8.52

**Figura 9. Curva potenciométrica para la destrucción de los cianuros Cu empleando diferentes cantidades de Hipoclorito. (CN 1820 ppm)**

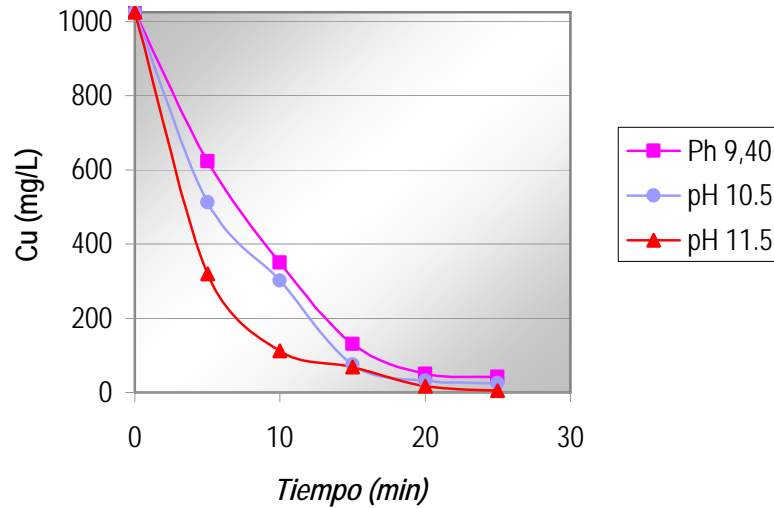


Una vez cumplida la etapa de oxidación de cianuros, se lleva a cabo los ensayos de precipitación de cobre, con base en los diagramas de solubilidad, se ensayaron muestras sintéticas de cobre (100ml cada una), para así encontrar el pH más adecuado de precipitación del metal. Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente, y con el fin de lograr una reacción uniforme en toda la masa reaccionante <sup>16</sup>, se decidió trabajar bajo condiciones de agitación de 100 rpm, y concentraciones cercanas a los de los efluentes reales.

La Figura 10 muestran los resultados de la cinética de precipitación de cobre en soluciones sintéticas bajo diferentes condiciones de pH. Como se puede observar, a valores de pH 9.40 no fue posible lograr concentraciones de Cu en solución inferiores a 1 ppm después de 25 minutos de precipitación. Se lograron a un pH de 11.5 niveles cercanos a lo permisibles por la normatividad.

En la Tabla 10 se muestran los resultados de las pruebas de floculación para 500mL de efluente (concentración inicial de 850 ppm, pH = 11.5) empleando siempre 20 minutos de sedimentación. Estas pruebas permitieron determinar la cantidad apropiada de floculante, para promover la coalescencia y sedimentación de los sólidos precipitados.

**Figura 10. Cinética de precipitación, de cobre en soluciones sintéticas a diferentes valores de pH**



**Tabla 10. Prueba de floculación para cobre (Volumen de efluente = 500 mL y pH = 11.5)**

CONCENTRACIÓN MUESTRA INICIAL 850 (ppm)	DOSIFICACIÓN FLOCULANTE		
	1mL	2mL	3mL
TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN (min)	20	20	20
CARACTERÍSTICAS DEL CLARIFICADO	turbidez	traslucido	Mayor turbidez
VOLUMEN DE LODO	71mL Poco compacto	120 mL Compacto	53 mL Poco compacto
CONCENTRACIÓN FINAL (ppm)	8.44	0.75	1.06

Con base en los resultados anteriores, se concluyó que el pH más conveniente para llevar a cabo la etapa de precipitación y floculación de cobre es de 11.5 dados los altos niveles de remoción con menores tiempos de precipitación.

### 3.2.2 Técnica de precipitación para la Línea de Latonado

En esta línea el vertimiento contiene cobre y zinc en presencia de cianuros, y por lo tanto el tratamiento debe contemplar la precipitación de los dos metales. El

procedimiento de precipitación empleado siguió el mismo protocolo establecido para el tratamiento de los efluentes del cobrizado (figura 8), lográndose precipitar los dos metales casi simultáneamente en una sola etapa de alcalinización. Al igual que en la línea de cobrizado, en esta línea se caracterizaron las muestras de vertimiento, y sus resultados se presentaron previamente en la Tabla 5. En la Tabla 11, se muestran las condiciones específicas del tratamiento que se diseñó en este trabajo para el tratamiento de los efluentes de latonado.

En la Tabla 12 y 13 presenta las condiciones del tratamiento de oxidación de cianuros en las dos etapas, para obtener el exceso de hipoclorito de sodio adecuado el cual garantizaría la destrucción de los cianuros, se hizo un ensayo de jarras con el efluente proveniente de la línea de latonado, en este caso requirió un mayor volumen de hipoclorito que el tratamiento del efluente de cobrizado ya que el vertimiento tenía una concentración inicial de cianuros de 3300 ppm. El seguimiento de la oxidación de los cianuros en las dos etapas se hizo a través del potencial de oxido-reducción, los resultados se observan en la Figura 11, en este caso se considera que con un volumen de 30mL de hipoclorito el cianuro pasa a cianato, alcanzando un potencial mayor a 300mV, y el cianato pasa a CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> cuando el potencial supera los 400 mV.

**TABLA 11. Condiciones y características de la opción de tratamiento diseñada para el vertimiento en el punto 10 y 11 (Latonado) volumen de muestra = 500mL**

<b>Etapa</b>	<b>Condiciones</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Ajuste de pH</b>	pH inicial: 10.1 T= 18.6°C Reactivo: Hidróxido de Sodio ( NaOH ) 2M Volumen para conseguir el ascenso de pH: 3.5mL. Velocidad de agitación: Constante pH final: 11 - 12	Se realiza por el tiempo necesario hasta que el pH se estabilice completamente.
<b>Oxidación de cianuros (primera etapa)</b>	Reactivo: Hipoclorito de sodio (NaOCl), Tiempo: 45 minutos  Velocidad de agitación: 150 rpm	producto comercial, dosificado tal y como se comercializa, en un exceso de 10%
<b>Ajuste de pH</b>	pH inicial: 10.3 Reactivo: Ácido Nítrico (HNO <sub>3</sub> )-65%. Volumen de ácido Nítrico: 1 mL. Velocidad de agitación: Constante pH final: 8.2 - 8.5	El tiempo necesario para que el pH se estabilice
<b>Oxidación de cianatos (segunda etapa)</b>	Reactivo: Hipoclorito de sodio (NaOCl), Tiempo: 60 minutos Velocidad de agitación: 150 rpm	Producto comercial, dosificado tal y como se comercializa.

<b>Ajuste de pH</b>	pH inicial: 8.8 Reactivo: Hidróxido de sodio (NaOH) 2M. Volumen: 12 mL para conseguir el incremento de pH (400 mL de muestra). Velocidad de agitación: Constante pH final: 11.6	Se pretende la formación de hidróxidos de cobre y zinc. El tiempo es el necesario para que el pH se estabilice
<b>Floculación</b>	Reactivo: RAPIFLOC Volumen : 1.6 mL ( Se agrega en solución 1:1 , según la cantidad de agua residual a tratar en este caso se utilizó 400mL) Mezcla rápida: Tiempo: 3 minutos Velocidad de agitación: 100 rpm Mezcla lenta: Tiempo: 2 minutos Velocidad de agitación: 40 rpm Sedimentación Tiempo :20 minutos pH Final: 9.5	La proporción de lodos formada fue aproximadamente 150ml

**Tabla 12. Condiciones experimentales de la primera etapa de la oxidación de cianuros para la línea de latonado ( pH inicial = 11.5 y un volumen hipoclorito de sodio = 30mL.**

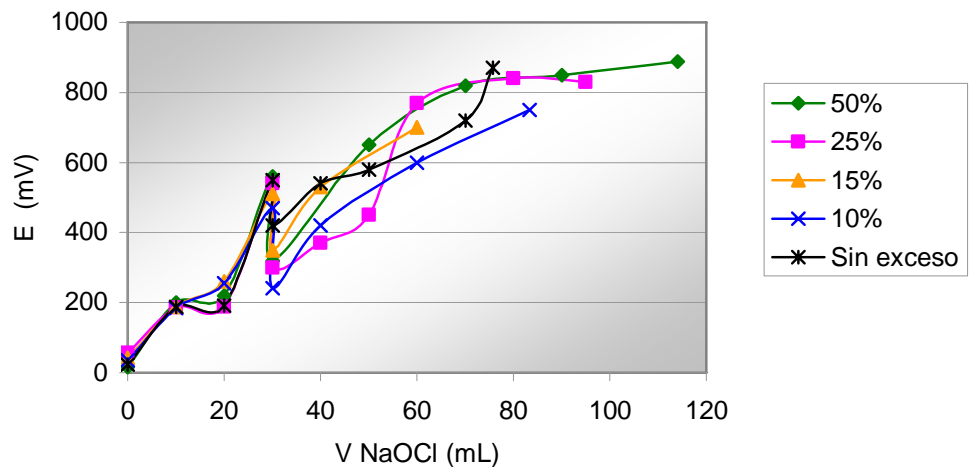
	<b>Jarra 1 (0.5L)</b>	<b>Jarra 2 (0.5L)</b>	<b>Jarra 3 (0.5 L)</b>	<b>Jarra 4 (0.5 L)</b>	<b>Jarra 5 (0.5 L)</b>
Reactivo para cambio de pH	Hidróxido de sodio	Hidróxido de sodio	Hidróxido de sodio	Hidróxido de sodio	Hidróxido de sodio
Exceso de hipoclorito de sodio	50%	25%	15%	10%	Sin Exceso
Características del clarificado	Color agua azul rey	Color agua azul rey	Color agua azul rey	Color agua azul rey	Color agua azul rey

**Tabla 13. Condiciones experimentales de la segunda etapa de oxidación de cianuros para la línea de Latonado ( pH inicial = 8.3 )**

	<b>Jarra 1 (0.5L)</b>	<b>Jarra 2 (0.5L)</b>	<b>Jarra 3 (0.5L)</b>	<b>Jarra 4 (0.5 L)</b>	<b>Jarra 5 (0.5 L)</b>
Exceso de hipoclorito de sodio	50%	25%	15%	10%	Sin Exceso

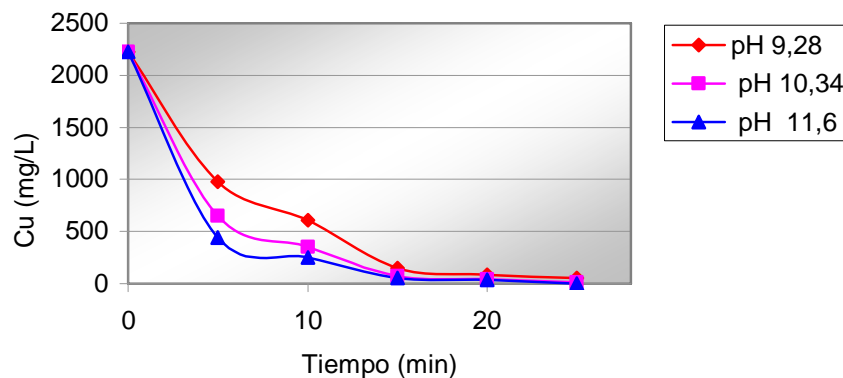
Volumen de hipoclorito de sodio (solución de concentración adecuada)	84 mL	65 mL	57.12 mL	53.33 mL	45.76 mL
Características del clarificado	Mayor turbiedad Clarificado azul rey	Mayor turbiedad Clarificado azul agua marina	Color Agua Marina	Mayor turbiedad	Mayor Turbiedad
Características del Floc formado	Lodo más oscuro compacto	Lodo más oscuro compacto	Gran cantidad de flóculos con muy baja velocidad de sedimentación	Gran cantidad de flóculos con muy baja velocidad de sedimentación	Gran cantidad de flóculos con muy baja velocidad de sedimentación
pH final	8.80	8.77	8.25	8.20	8.17

**Figura 11. Curva potenciométrica para la destrucción de los cianuros latón a diferentes s adiciones de Hipoclorito. Concentración de CN 3300 pmm**

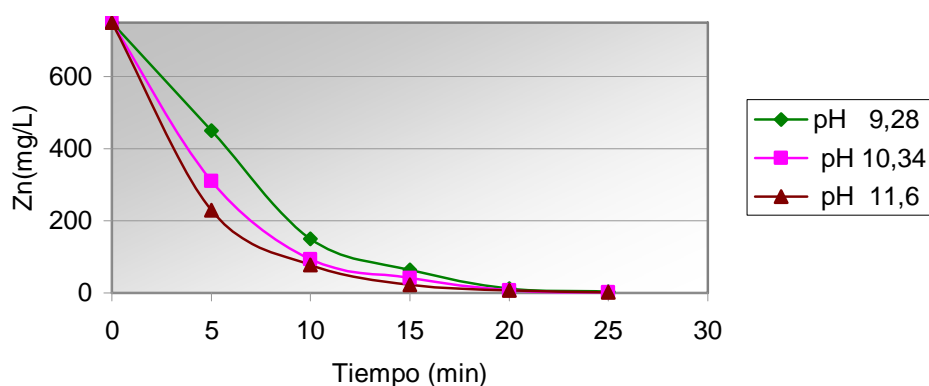


En la Figura 12 y 13 muestran los resultados de la cinética de precipitación de cobre y zinc en soluciones sintéticas bajo diferentes condiciones de pH. Como se puede observar, a valores de pH 11.6 fue posible lograr concentraciones de Cu y Zn en solución cercanas a los niveles permisibles por la normatividad. Se determinó la cantidad requerida de floculante, siguiendo un procedimiento similar que en la línea de cobrizado.

**Figura 12. Cinética de precipitación, de cobre en soluciones sintéticas (línea de latonado) a diferentes valores de pH**



**Figura 13. Cinética de precipitación, de Zinc en soluciones sintéticas a diferentes valores de pH**



En la Tabla 14 muestra los resultados de las pruebas de floculación para 500mL de muestra (concentración inicial de cobre 1150 ppm, y 300 ppm de zinc, pH = 11.6) empleando siempre 20 minutos de sedimentación. Estas pruebas permitieron determinar la cantidad apropiada de floculante, para promover la coalescencia y sedimentación de los sólidos precipitados.

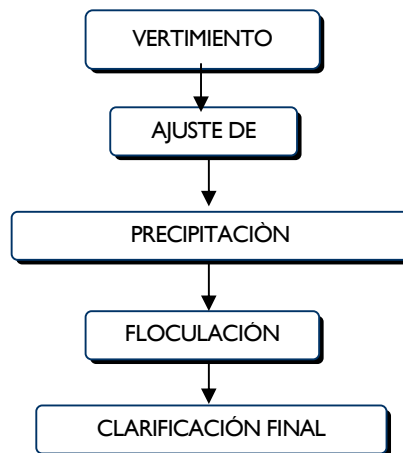
**Tabla 14. Prueba de floculación para Latón. (Volumen de solución = 500 mL y pH = 11.6)**

CONCENTRACIÓN MUESTRA INICIAL Cu 1150,Zn 300 (ppm )	DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTE		
	1mL	2mL	3mL
TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN (min)	20	20	20
CARACTERÍSTICAS DEL CLARIFICADO	turbidez	Traslucido Tomó un color rosado	Mayor turbidez
VOLUMEN DE LODO	54mL Poco compacto	153 mL Compacto color negro	72 mL Poco compacto
CONCENTRACIÓN FINAL Cu ( ppm )	10.23	0.62	3.65
CONCENTRACIÓN FINAL Zn ( ppm )	7.33	0.048	4.87

### 3.2.3 Técnica de precipitación para Línea de Niquelado

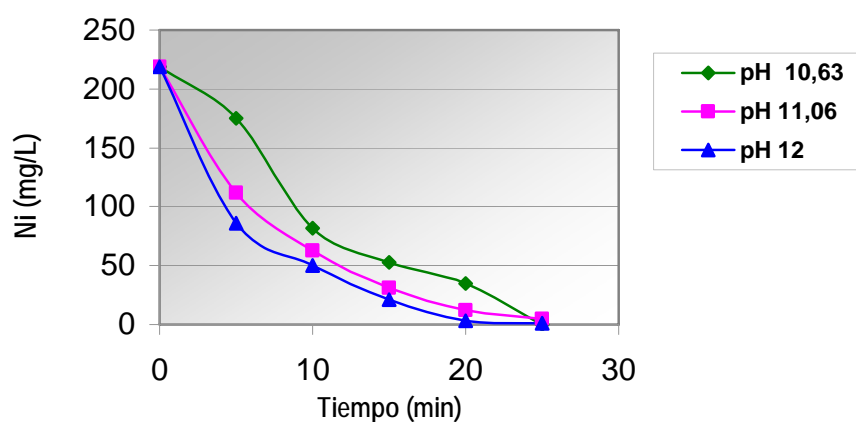
La opción de tratamiento para este efluente es más sencilla y corta, puesto tiene la ventaja de no requerir una etapa de oxidación de cianuros. El diagrama de flujo correspondiente para el tratamiento de los efluentes en esta línea de producción, diseñado en este trabajo, se presenta en la Figura 14.

**Figura 14. Diagrama de flujo del tratamiento aplicado a la línea de Niquelado.**



Con base en los diagramas de solubilidad, se ensayaron muestras sintéticas de Níquel (100ml cada una), para así encontrar el pH más adecuado de precipitación del metal. También en este caso se realizaron pruebas de jarras con efluente para establecer la dosis apropiada del floculante. La Tabla 15 muestra los resultados de la floculación, mientras los datos de la cinética de precipitación de níquel en las soluciones sintéticas de prueba se presentan en la Figura 15

**Figura 15. Cinética de precipitación, de Níquel en soluciones sintéticas a diferentes valores de pH.**



**Tabla 15. Prueba de floculación para Níquel( Volumen de solución = 500 mL y pH = 12)**

CONCENTRACIÓN MUESTRA INICIAL Ni 65.65 (ppm )	DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTE		
	1mL	2mL	3mL
TIEMPO DE SEDIMENTACIÓN (min)	20	20	20
CARACTERÍSTICAS DEL CLARIFICADO	turbidez	Traslucido	Mayor turbidez
VOLUMEN DE LODO	85 mL Poco compacto	200 mL Compacto	102 mL Poco compacto
CONCENTRACIÓN FINAL Ni ( ppm )	20.64	2.23	15.48

Dados los resultados anteriores, cantidad las condiciones para realizar el tratamiento de remoción de níquel se presentan a continuación:

**TABLA 16. Condiciones y características de la opción de tratamiento diseñada para el vertimiento en el punto 5 (Niquelado) volumen de muestra = 500mL**

Etapa	Condiciones	Observaciones
<b>Ajuste de pH</b>	pH inicial: 7.22 Reactivo: Hidróxido de Sodio (NaOH) 2M Volumen para conseguir el ascenso de pH: 5.2 mL. Velocidad de agitación: Constante pH final: 12	Se realiza por el tiempo necesario hasta que el pH se estabilice
<b>Floculación</b>	Reactivo: RAPIFLOC Volumen: 2 ml ( Se agrega en solución 1:1 , según la cantidad de agua residual a tratar en este caso se utilizó 500 mL) Mezcla rápida: Tiempo:3minutos Velocidad de agitación: 100 rpm Mezcla lenta: Tiempo 2 minutos Velocidad de agitación: 40 rpm Sedimentación Tiempo : 20 minutos pH final: 6.2	La proporción de lodos formada fue aproximadamente 200ml

### 3.2 Caracterización Físico- Química de Los Sólidos

Los lodos producidos por los tratamientos de oxidación y precipitación- floculación, fueron sometidas a diferentes técnicas de análisis, con el fin de establecer sus propiedades físico-químicas. Los resultados, que se muestran en el siguiente capítulo, incluyeron análisis químico, espectroscopia de infrarrojo, termogravimetría y pruebas de toxicidad característica.

El procedimiento seguido para el ensayo de toxicidad característica fue el siguiente:

Procedimiento: Se pesó 1 gr de sólido previamente secado y macerado, se agregaron 20 mL de fluido (Fluido 1 ó 2), y la muestra se introdujo en un molino de jarras durante 18 horas. Luego se filtró el líquido, y se analizó la cantidad en solución por espectroscopia de absorción atómica. Para la determinación del fluido adecuado, se pesó 1 gr de sólido pulverizado, y se agregaron 19.2 mL de agua destilada; se cubrió con vidrio reloj agitando durante 5 minutos. Si el pH era < 5 se utiliza el fluido 1. Si el pH era > 5 se agrega 0.75 mL de HCl 1 N, agitando por 30

segundos y manteniendo una temperatura de 50 °C por 10 minutos. Si el pH es < 5 se utiliza el fluido 1, Si el pH era > 5 se utiliza el fluido 2.

Fluido 1: 5.7 mL de ácido acético glacial más 64.3 mL de NaOH 1N se diluye y se afora a 1 L.

Fluido 2: 5.7 mL de ácido acético glacial y se afora a 1 L.

El fluido 1 se usó en los lodos provenientes de las soluciones sintéticas de cobre, latón, níquel y níquel del vertimiento. El fluido 2 se utilizó en los lodos producidos por los tratamientos de oxidación y floculación de cobre y latón.

**3.3 Análisis Químico:** El procedimiento seguido para el ensayo de análisis químico fue el siguiente:

Procedimiento: Se pesó una cantidad determinada de sólido previamente secado, y se agregó 30 mL de HNO<sub>3</sub> con una concentración de 65%, en cada beaker se observó la dilución total de la muestra y se procedió a cuantificar las concentraciones de Cu, Ni y Zn en las soluciones obtenidas una vez terminado el ensayo.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos, con la aplicación de las opciones de tratamiento de los efluentes de cada línea de producción (cobrizado, latonado y niquelado) que fueron diseñados en este trabajo tal como se describió en el capítulo anterior.

### 4.1 Resultados de La Oxidación de Cianuros

En las curvas potenciométricas como las mostradas en las Figuras 9- 11, se observó un comportamiento similar en todas las curvas durante la primera etapa de oxidación, debido a una adición constante de reactivo oxidante. Esta etapa ocurre hasta superar el potencial mínimo requerido para la reacción de cianuro a cianato.

En la primera etapa se logra un ascenso progresivo de estas curvas lo cual indica la oxidación del cianato; cuando se llega a la estabilización del potencial (800mv) se produce un escalón y se inicia el cambio de cianato a CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>. Lo anterior se comprobó en el laboratorio con la emisión de gas burbujeante. Después de este punto de cambio, el potencial prácticamente no varía y se estabiliza debido a los excesos de adición de hipoclorito de sodio ocurriendo la pasivación del electrodo <sup>13</sup>.

**Tabla 17. Resultados de la oxidación de cianuros con diferentes adiciones de hipoclorito de sodio. Línea de cobrizado**

Inicial	Concentración de CN ppm				
	50% NaOCL	25% NaOCL	15% NaOCL	10% NaOCL	SIN EXCESO
	Final	Final	Final	Final	Final
1820 (CN ppm)	<5	<5	<5	<5	<5
850 (Cu ppm)	44.2	41	37.64	36.82	43.64

**Tabla 18. Resultados de la oxidación de cianuros con diferentes adiciones de hipoclorito de sodio. Línea de Latonado.**

Inicial	Concentración de CN ppm				
	50% NaOCL	25% NaOCL	15% NaOCL	10% NaOCL	SIN EXCESO
	Final	Final	Final	Final	Final
3300 (CN ppm)	<5	<5	<5	<5	<5
1150 (Cu ppm)	36.2	32.40	40.28	37.31	22.49
300 (Zn ppm)	3.12	3.02	4.12	2.57	3.33

Los resultados anteriores comprueban la efectividad del método elegido para la oxidación de cianuros con hipoclorito de sodio en todos los casos. Aunque en todos los ensayos se encontró una remoción de cianuro del 90%, usando exceso de hasta 50%.

Según la reacción y los fundamentos teóricos es recomendable una adición en exceso de solo 10% que sería suficiente para superar el consumo de hipoclorito de sodio por la materia orgánica, y mantendría una concentración mínima estequiométrica requerida.

También este exceso aumenta las valencias de los metales en disolución, y la producción de O<sub>2</sub> que luego se une con el metal produciendo óxidos e hidróxidos metálicos. La oxidación de todas las muestras con este exceso del 10% produjo siempre concentraciones finales de cianuros menores a 5 ppm.

Los resultados de las precipitaciones de cobre y latón (Cu y Zn) que se consignan en las tablas 19 a la 21 se obtuvieron empleando un exceso de 10% de hipoclorito de sodio, para la oxidación.

## **4.2 Resultados de La Precipitación de Metales en cada Línea de Producción.**

### **4.2.1 Línea de Cobrizado.**

La Tabla 19 muestra los resultados del tratamiento de precipitación de cobre para la línea de cobrizado. En general, con el procedimiento diseñado se logra una remoción

de 92% de cobre al finalizar la oxidación de cianuros, y un porcentaje de cobre removido de 96% al realizar la precipitación.

Luego de adicionar una cantidad controlada de floculante es posible lograr una remoción de un 99% lo cual resalta la importancia de usar este agente para incrementar la cantidad de metal removido en el efluente.

**Tabla 19. Resultados finales de la concentración de cobre en cada etapa del tratamiento y su correspondiente porcentaje de remoción.**

Fecha de muestra	Concentración inicial (ppm)	Concentración después de oxidación (ppm)	Concentración Precipitación (ppm)	Concentración (ppm) final (floculación)
Julio 8	850	36.82 – 95.66%	12.56 – 98.52%	0.964 – 99.88%
Julio 17	326	19.12- 94.13%	7.11 – 97.81%	2.35 – 99.27%
Julio 26	430	100 – 76.74%	37.77 – 91.21%	1.82 – 99.57%
Agosto 8	2201.74	93.07 – 95.7%	50.31 – 97.7%	7.11 – 99.67%
Agosto 28	2191.108	59.96 – 97.26%	51.40 – 97.65%	1.143 – 99.99%
Agosto 30	153	8.06 – 94.73%	3.66 – 97.60%	0.263 – 99.82%

#### 4.2.2 Línea de Latonado

La Tabla 20 muestran los resultados del tratamiento de precipitación de cobre para la línea de latonado. En general con el procedimiento diseñado para la línea de latonado se logra una remoción de 92% de cobre al finalizar la oxidación de cianuros, y un porcentaje de cobre removido de 97% al realizar la precipitación. Luego de adicionar una cantidad controlada de floculante es posible lograr una remoción de un 99% lo cual resalta la importancia de usar este agente para incrementar la cantidad de metal removido en el efluente.

**Tabla 20 Resultados finales de la concentración de cobre (latón) en cada etapa del tratamiento y su correspondiente porcentaje de remoción.**

Fecha de muestra	Concentración inicial (ppm)	Concentración después de oxidación (ppm)	Concentración Precipitación (ppm)	Concentración (ppm) final (floculación)
Julio 11	1150	37.31 – 96.75%	24.88 – 97.8%	2.26 – 99%
Julio 19	3847.45	1360 – 64.65%	23.6 – 99.3%	3.34 – 99%
Julio 31	3412.67	532.5 – 84.39%	82.1 – 97.5%	1.23- 99%
Agosto 25	109.18	67.2 – 38.45%	7.54 – 93.0%	0.88 – 99%
Agosto 28	2183.45	54.21 – 97.51%	4.184 – 99.0%	0.785 -99%
Septiembre 1	4045	27.07 – 99.33%	4.042 – 99.0%	0.825 -99%

De igual manera se observó una excelente remoción de zinc en cada una de las etapas del tratamiento para el mismo efluente., como se observa en la Tabla 21.

**Tabla 21. Resultados finales de la concentración de Zinc (latón) en cada etapa del tratamiento y su correspondiente porcentaje de remoción.**

Fecha de muestra	Concentración inicial (ppm )	Concentración después de oxidación (ppm )	Concentración Precipitación (ppm )	Concentración (ppm ) final (floculación)
Julio 11	300	2.57 – 99.14%	1.23 – 99.59%	0.081 – 99.9%
Julio 19	1647.79	145.39 – 91.17%	4.88 – 99.70%	2.76 – 99.9%
Julio 31	558.20	96.32 – 82.74%	10.2 – 98.17%	0.26 – 99.9%
Agosto 25	290.03	28.10 – 90.31%	6.32 – 97.82%	1.056 – 99.9%
Agosto 28	681.81	5.87 – 99.13%	4.98 – 99.26%	0.0351 – 99.9%
Septiembre 1	863	26.31 – 96.95%	3.15 – 99.63%	0.624 – 99.9%

#### 4.2.3 Línea de Niquelado

La Tabla 22 muestran los resultados del tratamiento de precipitación de níquel para la línea de niquelado. Con el procedimiento diseñado para esta línea se logró una remoción de 93% de níquel al finalizar la precipitación y un porcentaje de níquel removido de 99% al realizar la floculación.

**Tabla 22. Resultados finales de la concentración de Níquel en cada etapa del tratamiento.**

Fecha de muestra	Concentración inicial (ppm )	Concentración Precipitación (ppm )	Concentración (ppm ) final (floculación)
5 DE JULIO	65.65	5.23 – 92.03%	0.74- 98.87%
8 DE JULIO	376	1.65 – 99.56%	0.36 – 99.9%
11 DE AGOSTO	596.65	1.56 – 99.73%	0.23 – 99.96%
25 DE AGOSTO	242	2.48 – 98.97%	0.82 – 99.66%
28 DE AGOSTO	49.35	6.76 – 86.30%	1.56 – 96.83%
1 DE SEPTIEMBRE	39	6.354 – 83.70%	0.17 – 99.56%

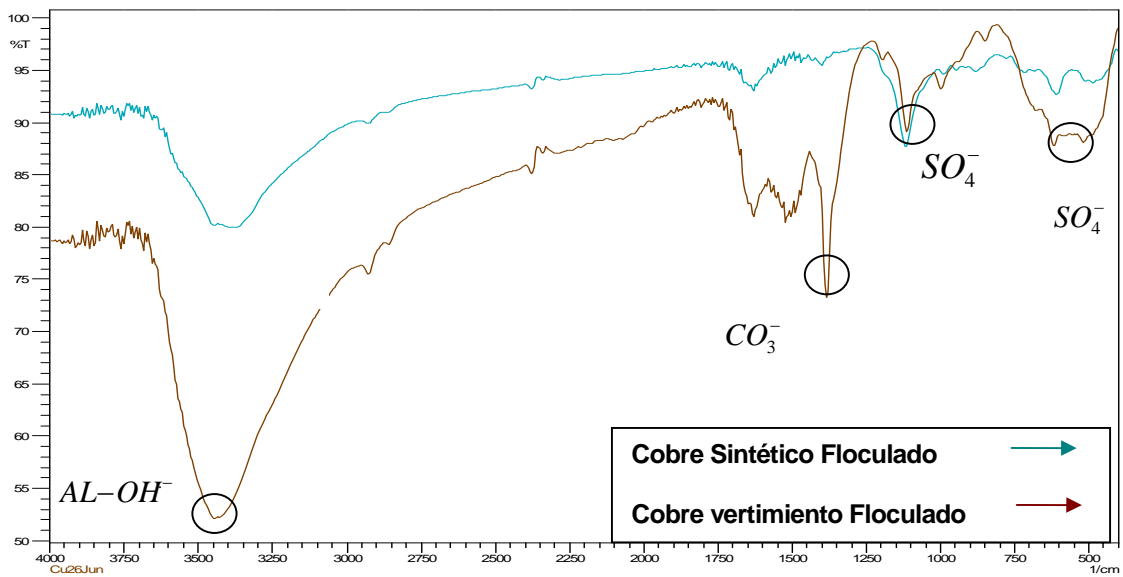
Como se observaron en las tablas de la 19 a la 22, en cada caso la opción de tratamiento en las diferentes líneas fueron efectivas; y se logró una muy buena remoción del metal y cianuro.

#### 4.3 Caracterización Físico- Química de Los Lodos Producidos

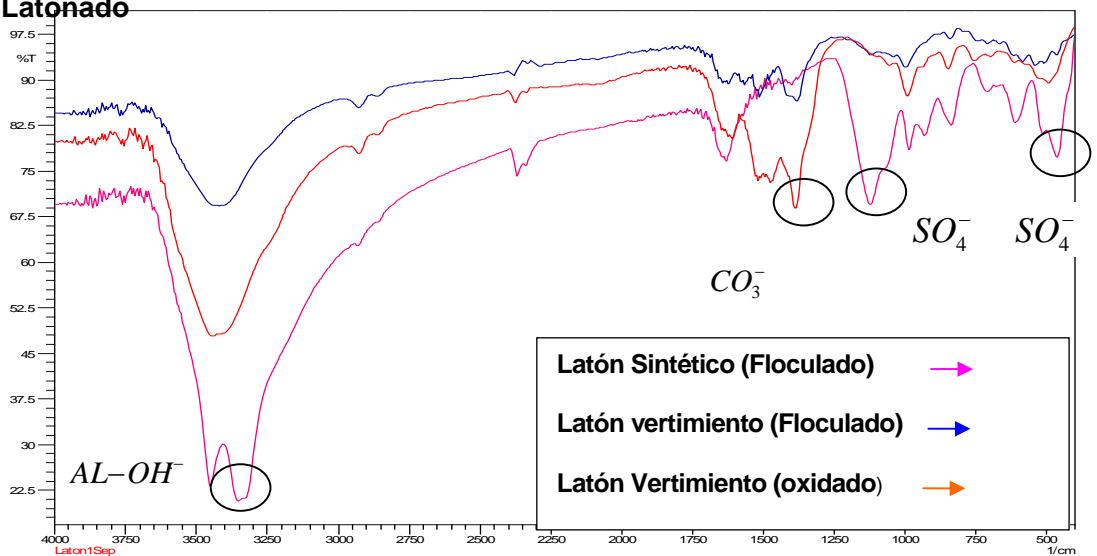
**4.3.1 Análisis de espectroscopia de Infrarrojo.** En la Figuras 16,17 y 18 , muestran los espectros de infrarrojo de los lodos originados de las etapas de precipitación –

floculación, se identificaron grupos sulfatos originados seguramente en el agente floculante, con dos bandas de débil intensidad a  $1106$  y  $622\text{ cm}^{-1}$ , a  $3400$  y  $3450\text{ cm}^{-1}$  se identificaron grupos de  $\text{Al-OH}$ , debido a que estos precipitan como hidróxidos en la etapa de precipitación- floculación, mientras que en los espectros de infrarrojo de los lodos generados en la etapa de oxidación se identificaron grupos carbonatos a  $1429\text{ cm}^{-1}$ , estos grupos son producto de la reacción (1) consignada en el marco teórico <sup>3</sup>.

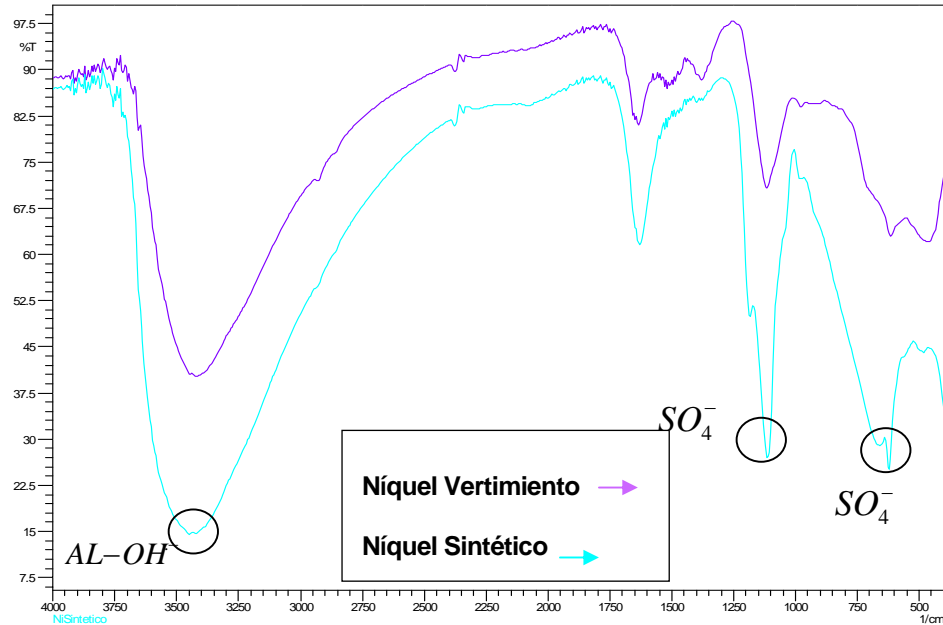
**FIGURA 16. Resultado del análisis de espectroscopia de infrarrojo del Lodo de Cobrizado**



**FIGURA 17. Resultado del análisis de espectroscopia de infrarrojo del Lodo de Latonado**



**FIGURA 18. Resultado del análisis de espectroscopia de infrarrojo del Lodo niquelado**



### 4.3.2 Análisis termogravimétrico

El análisis termogravimétrico de los lodos mostrados en el Anexo 5 permitió que a temperaturas mayores de 25°C y hasta 90 °C aproximadamente, los sólidos presentan una pérdida de peso promedio 12% debido a la presencia de humedad. Temperaturas superiores a 100°C se notó una diferencia significativa de pérdida de peso entre los residuos de los efluentes de cobrizado y niquelado. Con respecto al residuo del efluente de latonado, particularmente en la región entre 150 a 250°C corresponde a la liberación de OH, debido probablemente a la naturaleza química de los residuos.

### 4.3.3 Ensayo de toxicidad característico (TCLP).

Las tablas 23,24 y 25 muestra los resultados del ensayo de toxicidad realizados a los lodos provenientes de las etapas del tratamiento a las líneas de cobrizado con una concentración de 2191.108 ppm, latonado con concentraciones de Cu 1150, Zn 300 ppm y niquelado cuya concentración es de 242 ppm.

**Tabla 23. Concentraciones de cobre en las soluciones después del ensayo TCLP.**

<b>RESIDUO W = Peso de la muestra</b>	<b>ppm de Cu disuelto</b>	<b>% de Cu disuelto</b>
Residuo después de la oxidación, W= 1gr	30.81	0.27
Residuo después de la Floculación. W= 0.25 gr	17.89	0.52

**Tabla 24 .Concentraciones de cobre y zinc en las soluciones después del ensayo TCLP**

<b>RESIDUO W = Peso de la muestra</b>	<b>ppm de Cu disuelto</b>	<b>ppm de Zn disuelto</b>	<b>% de Cu disuelto</b>	<b>% de Zn disuelto</b>
Residuo después de la oxidación, W= 1 gr	4.2	23.49	0.04	1.10
Residuo después de la Floculación. W = 1 gr	0.74	0.51	0.25	1.61

**Tabla 25. Concentraciones de níquel en las soluciones después del ensayo TCLP**

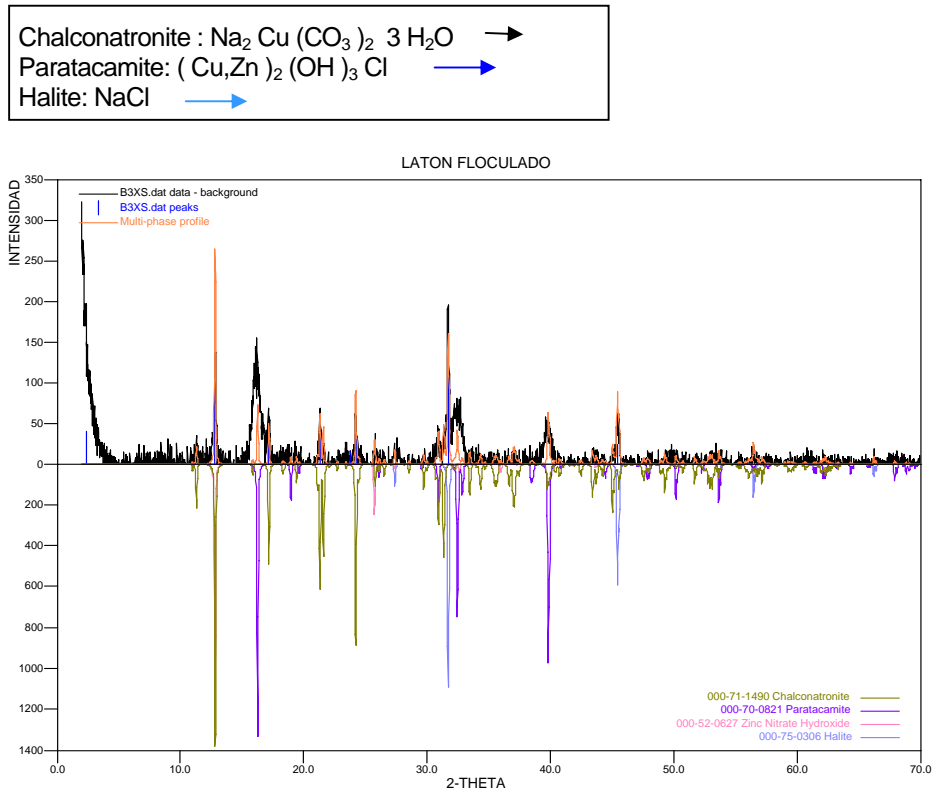
<b>RESIDUO W = Peso de la muestra</b>	<b>ppm de Ni disuelto</b>	<b>% de Ni disuelto</b>
Residuo después de la Floculación. W= 1 gr	38.9	1.72

Las tablas anteriores nos muestran que los lodos originados en la etapa de oxidación presentan menores valores de porcentajes de metales disueltos, que en los lodos resultantes en la etapa de floculación, estos porcentajes reflejan las altas concentraciones de metales que se liberarían a condiciones ambientales, superando así los límites permisibles por la norma (Ver Anexo 3).

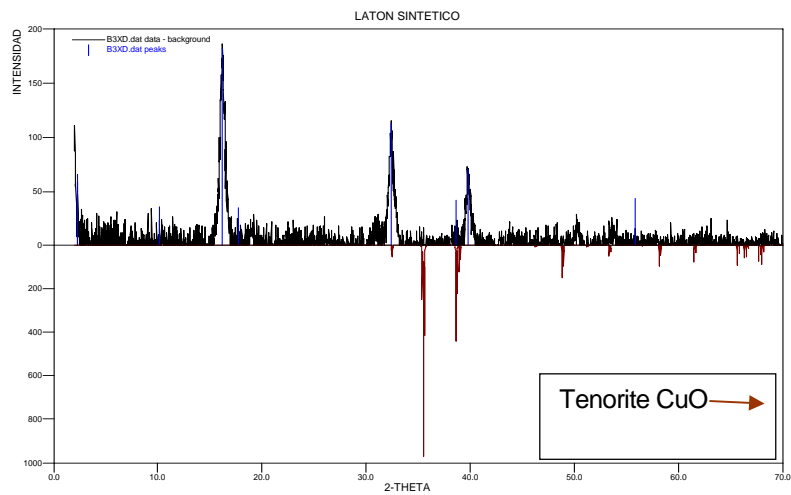
#### **4.3.4 Ensayo por difracción de rayos X.**

Los difractogramas correspondientes las Figuras 19 a la 25 muestran los resultados del análisis de difracción de rayos x; en ellos se puede observar que los lodos originados de la etapa de floculación ( Cu y Ni ) no se identifican compuestos específicos debido a que estos residuos no presentan una estructura cristalina definida. En la Tabla 26 se consignan los compuestos encontrados en cada una de las muestras.

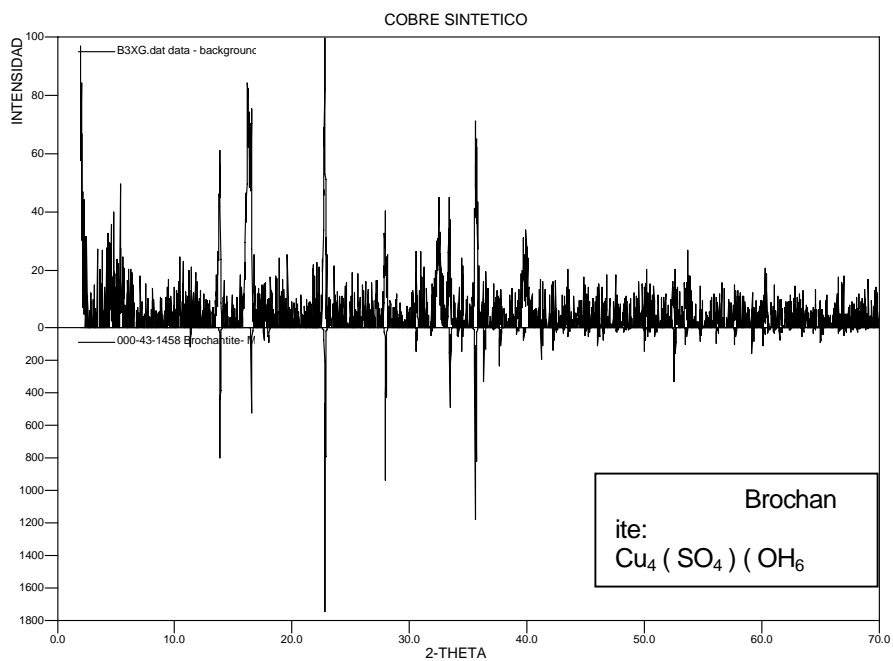
**Figura 19. Resultado de la difracción de Rayos X para los Lodos de latón Floculado**



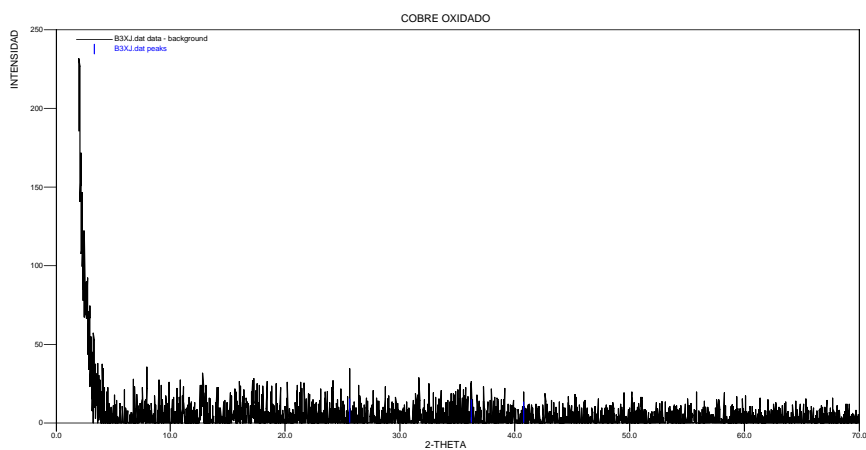
**Figura 20. Resultado de la difracción de Rayos X para los Lodos de latón Sintético Floculado**



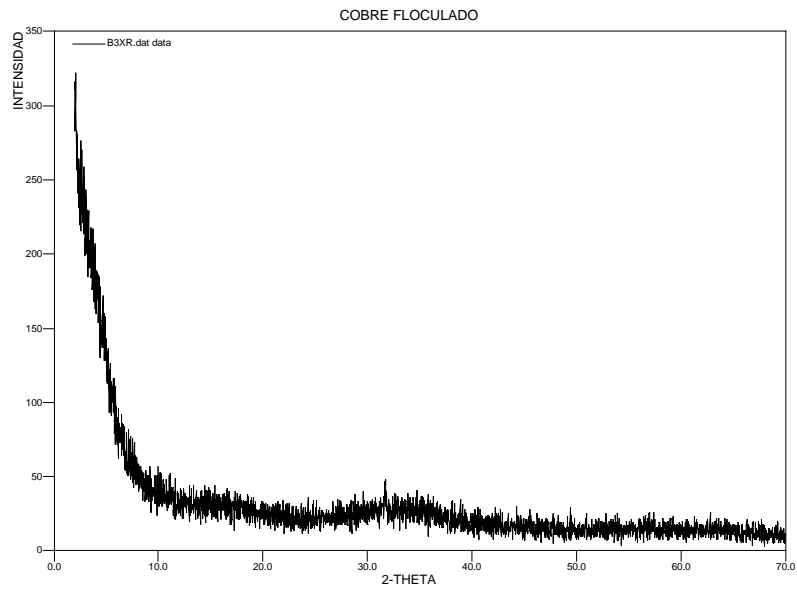
**Figura 21. Resultado de la difracción de Rayos X para los Lodos de cobre sintético Floculado**



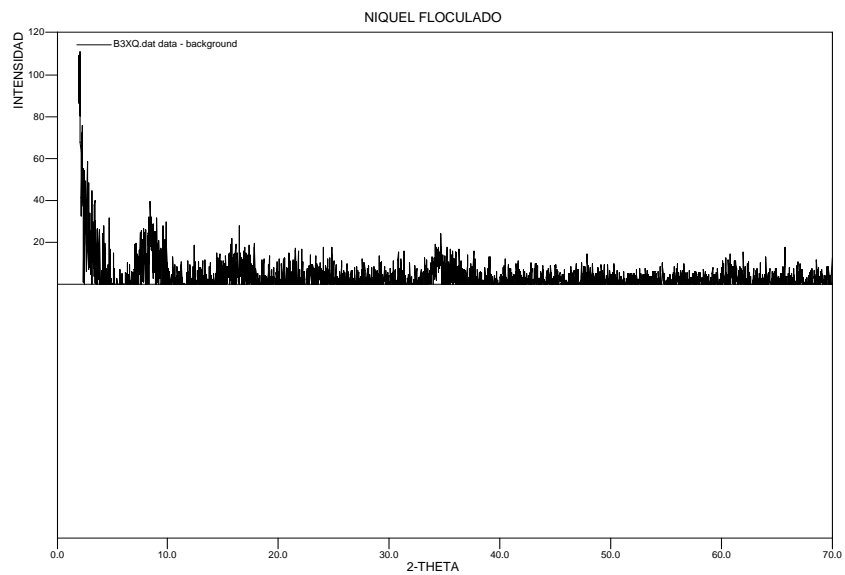
**Figura 22. Resultado de la difracción de Rayos X para los Lodos de cobre Oxidado**



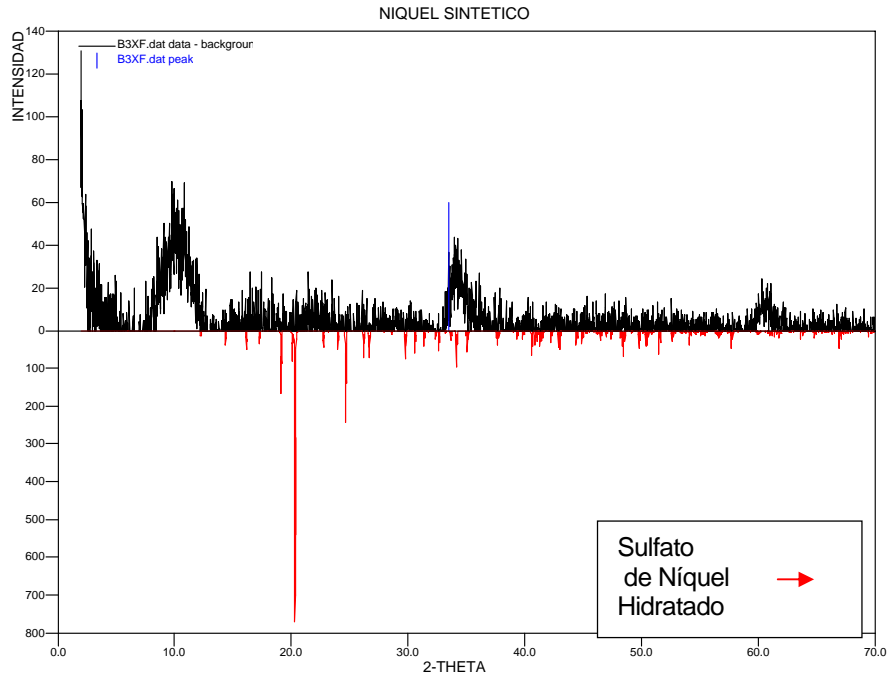
**Figura 23. Resultado de la difracción de Rayos X para los Lodos de cobre Floculado**



**Figura 24. Resultado de la difracción de Rayos X para los Lodos de níquel Floculado**



**Figura 25. Resultado de la difracción de Rayos X para los Lodos de Níquel Sintético Floculado**



**Tabla 26 Resultados de análisis por difracción de rayos X de lodos.**

Lodo	Latón floculado	Cobre floculado	Níquel floculado	latón sintético	Cobre sintético	Níquel sintético
Composición	(Cu,Zn) <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> Cl ZnNO <sub>3</sub> OH NaCl	amorfo	amorfo	CuO	Na <sub>2</sub> Cu(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .3 H <sub>2</sub> O	SO <sub>4</sub> Ni 7H <sub>2</sub> O

#### 4.3.5 Análisis químico.

Las Tablas 27,28 y 29 muestran los resultados de análisis químico realizado a los lodos provenientes de las etapas del tratamiento a las líneas de cobrizado con una concentración de 850 ppm, latonado con concentraciones de Cu 1150, Zn 300 ppm y niquelado cuya concentración es de 56.65 ppm.

**Tabla 27. Resultados de análisis químico de lodos ( línea de Cobrizado)**

<b>RESIDUO W = Peso de la muestra</b>	<b>ppm de Cu</b>	<b>% de Cu</b>
Residuo después de la oxidación, W = 0.79 gr	2796.83	41.95
Residuo después de la Floculación. W = 0.52 gr	101.38	3.04

**Tabla 28. Resultados de análisis químico de lodos ( línea de Latonado)**

<b>RESIDUO W = Peso de la muestra</b>	<b>ppm de Cu</b>	<b>ppm de Zn</b>	<b>% de Cu</b>	<b>% de Zn</b>
Residuo después de la oxidación, W = 2.7 gr	1426.58	336.8	15.84	40.48
Residuo después de la Floculación. W = 0.47 gr	76.29	7.75	3.91	0.25

**Tabla 29. Resultados de análisis químico de lodos ( línea de Niquelado)**

<b>RESIDUO W = Peso de la muestra</b>	<b>ppm de Ni</b>	<b>% de Ni</b>
Residuo después de la Floculación. W= 1.75 gr	909	16

Los resultados obtenidos en el análisis químico se observan que en los lodos originados en la etapa de oxidación tienen mayores valores de porcentaje de riqueza en Cu y Zn , lo que hace estimar que en esta etapa hay una alta remoción de metales, mientras que los valores de porcentaje de riqueza de los lodos provenientes de la etapa de floculación son menores.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En el presente trabajo se comprobó que el tratamiento de efluentes por precipitación convencional, sería útil para tratar las aguas industriales de la empresa de electro-recubrimientos Fantaxias Ltda. Las razones son su sencillez, bajo costo y facilidad de implementación a corto plazo, atendiendo los deseos de la empresa. Indudablemente, la precipitación es el proceso típicamente usado para la remoción de metales en aguas residuales logrando la remoción deseada de los mismos.
2. La opción de tratamiento propuesta por este trabajo ha sido satisfactoria, ya que logró reducir la concentración de los metales y cianuros a niveles permisibles por el decreto 1594 de 1984 artículo 74. Para su implementación en planta serían necesarios controles en la dosificación de reactivos, así como un seguimiento estricto de la técnica desarrollada en este proyecto.
3. Una de las grandes dificultades para el tratamiento radica en que la jornada productiva no es estandarizada, es decir, que el recubrimiento de piezas atiende a una demanda variable y no a ordenes de producción periódica. Por lo tanto, es necesario un tanque de homogenización en cada línea de producción con el propósito de suavizar las diferencias de caudal y concentraciones, así como instalar una trampa de grasas para remoción de las mismas.
4. Las técnicas de espectroscopia de infrarrojo y difracción de rayos X, permitieron identificar sulfatos y sales, debido a que estas sustancias son agregadas a los baños de cada línea de producción, también se observó la presencia de carbonatos, óxidos e hidróxidos, que se originaron en la etapa de oxidación de cianuro, precipitación y floculación .

## 6. BIBLIOGRAFIA

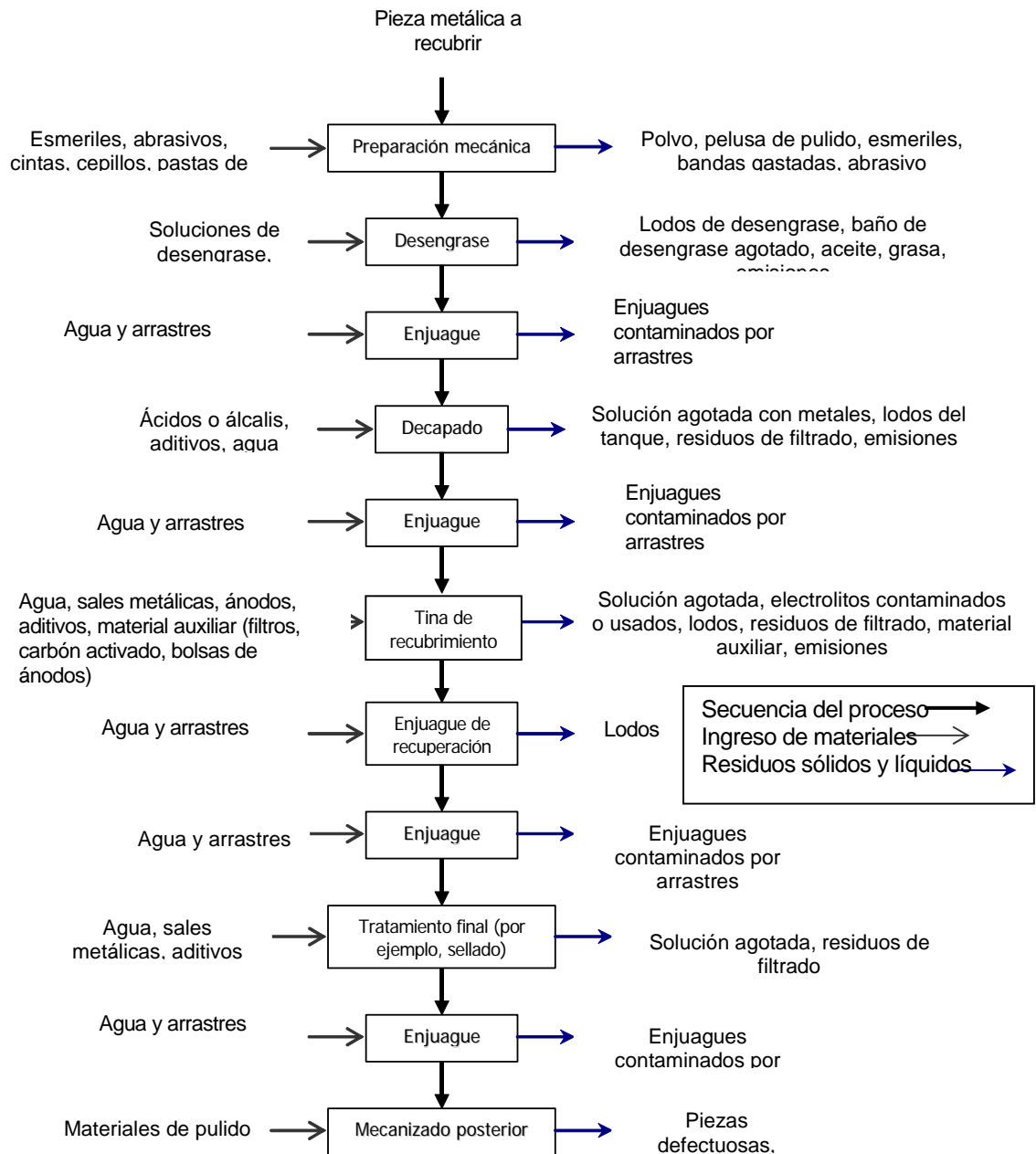
1. AFRICANO CASTILLO Lilibiana Carolina, PINZÓN DÍAZ Rocio del pilar Ing. Química UIS. TRATAMIENTO DESCONTAMINANTE DE LOS AFLUENTES GENERADOS EN EL PROCESO DE REFINACIÓN DE ORO CON ÁCIDO NÍTRICO. Bucaramanga 2004.
2. BERNAL BOHÓRQUEZ, Luis Alejandro. Promoción de la pequeña empresa ecoeficiente latinoamericana PROPEL: situación ambiental del sector de recubrimiento de metales -galvanoplastia- en Chile, Colombia y Ecuador. Memorias del seminario "Roundtable on Metal Processing Sector". Santafé de Bogotá, Colombia. 1997.
3. CARACTERIZACIÓN DE SALES DE ALUMINIO PARA LA UTILIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO [www.leia.es/](http://www.leia.es/)
4. COMUNIDAD DE MADRID. Consejería del Medio Ambiente. Manual de Gestión Ambiental y Auditoria. Sector Recubrimientos Metálicos. Ediciones Mundi-Prensa. 2000.
5. Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984. Ministerio de Agricultura .Colombia.
6. ECKENFELDER, W Wesley. Industrial Water Pollution Control. Tercera Edición. McGraw Hill. Estados Unidos de América. 2000.
7. .E.J. ORMAZABAL. Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones, Recubrimientos Electrolíticos. España 2002.

8. GAVIRIA C. Ana C, MEZA S. Luis A. PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA MINEROS NACIONALES, MUNICIPIO DE MARMATO, CALDAS. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Revista de la facultad de Minas (DYNA). Publicado 7 de mayo 2006. [www.dyna.unalmed.edu.co/](http://www.dyna.unalmed.edu.co/).
9. GUERRERO GÓMEZ Andrés, ROMERO CABEZAS Ludwink Manuel. Ing Química. UIS. EVALUACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LOS VERTIMIENTOS LÍQUIDOS DE LA EMPRESA DE HERRAJES FANTAXÍAS LTDA. 2006
10. Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro. 1997. [www.mem.gob.pe/](http://www.mem.gob.pe/).
11. GRAHAM, Kenneth. Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos. Compañía Editorial Continental, S.A. México. 1967. Pp. 85 – 87.
12. MANUAL PARA EL TRATAMIENTO DE VETIMIENTOS DE EMPRESAS DEL SECTOR DE RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. Capítulos 4 y 5. Southwest Pollution Prevention Center. 1998.
13. NAKAMOTO Kazuo. INFRARED SPECTRA OF INORGANIC AND COORDINATION COMPOUNDS. Second edition 1970. Part II.
14. PAHECO CABRERA Pilar, VERA BLANCO. USO DE MATRIZ PONDERAL PARA LA SELECCIÓN DEL MÉTODO DE TRATAMIENTO DE RESIDUALES CIANURADOS DE PLANTAS GALVÁNICAS. Instituto de Geofísica y Astronomía, calle 212 No.2906 entre 29 y 31, CP 11600, La Habana Cuba, e-mail: [ppacheco@iga.cu](mailto:ppacheco@iga.cu) ,Centro de Investigaciones y Proyectos para la Industria Minero Metalúrgica, Carretera Varona No.12028, Boyeros, La Habana Cuba, e-mail [avera@cipimm.minbas.cu/](mailto:avera@cipimm.minbas.cu/). [www.iga.cu/](http://www.iga.cu/)

- 15.** P&ID DEL TRATAMIENTO DE REMOCIÓN DE CIANURO (CN<sup>-</sup>) DE AGUAS RESIDUALES. [www.cipres.cec.uchile.cl/](http://www.cipres.cec.uchile.cl/).
- 16.** PUENTE SANTIBAÑEZ Luis. PRECIPITACIÓN QUÍMICA Y ADSORCIÓN EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES CONTENIENDO METALES DISUELTOS. [www.scielo.org.pe/](http://www.scielo.org.pe/).

## ANEXOS

### Anexo1. Etapas del proceso de recubrimientos metálicos aplicado en la empresa Fantaxías Ltda.



ANEXO 2. Tecnologías alternas para lograr la remoción de cianuros.

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Acidificación</b>	Se obtiene un elevado grado de remoción, en cuanto a los cianuros simples y complejos; y a la automatización, ya que la instalación para llevar a cabo este método debe ser totalmente automatizada, para evitar riesgos de accidentes fatales.	Costo de inversión y explotación elevados. Es imposible recircular, ya que el tratamiento no elimina las sustancias tóxicas como son los metales pesados.
<b>Cloración</b>	Fácil manipuleo y control del dosaje, la segunda etapa no es necesario si los desechos no entran en contacto con otros que contienen cromo.	La reacción es exotérmica a altas concentraciones de Cianuros mayores a 10 g/L puede producir combinaciones gaseosas tóxicas.
<b>Ozonización</b>	Oxidación de cianuros a dióxido de carbono y nitrógeno. Adicionalmente, el ozono oxida fenoles y cromóforos, y los transforma en productos no tóxicos e incoloros	Por su inestabilidad, el ozono se debe generar in situ. Dificultad en el manipuleo y control del dosaje.
<b>Intercambio iónico</b>	Es un método que permite recircular totalmente el agua	los costos de inversión y los reactivo a utilizar son caros y estos reactivos no se producen en el país.
<b>Método por vía electrolítica</b>	Oxidación de cianuros a cianatos, el método es eficiente, reduce concentraciones de cianuros amenos de 1 ppm. No requiere el uso de reactivos químicos.	Costo del tratamiento alto. Es aplicable a volúmenes de agua residual, menores de 100 litros.

<b>Peróxido de hidrógeno</b>	Oxidación de cianuros a cianatos, Precipitación de metales pesados en forma de óxidos e hidróxidos	Los cianuros se oxidan parcialmente a cianatos
<b>Sulfato Ferroso</b>	Bajo costo de operación, la solución de sulfato ferroso proviene del baño agotado del decapado. Fácil manipuleo y control de dosaje.	Efluente coloreado de azul. El ferrocianuro se descompone a cianuro libre en presencia de la luz solar.

**ANEXO 3. Concentraciones máximas permisibles para verter a un cuerpo de agua y/o red de alcantarillado público**

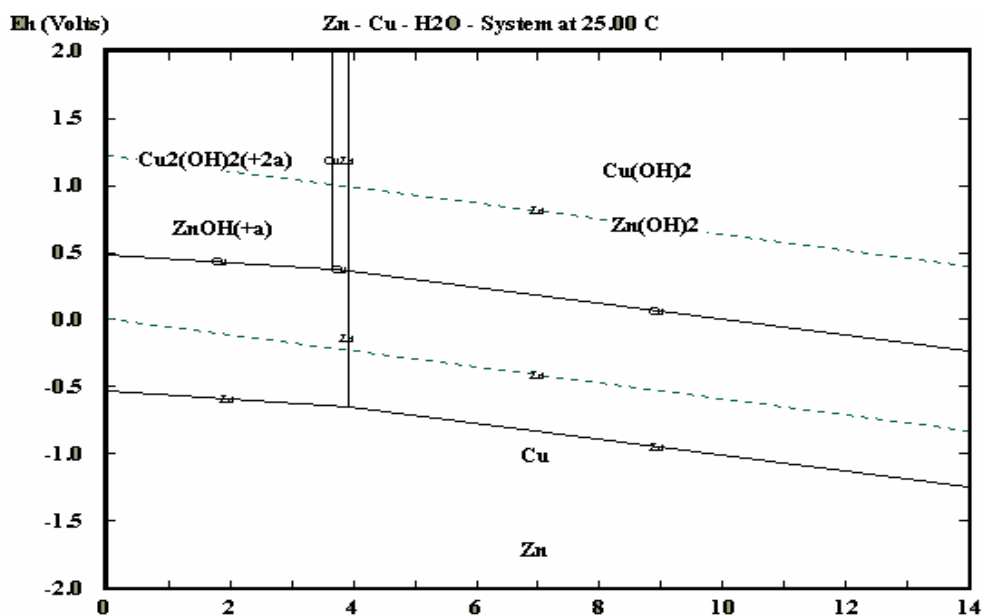
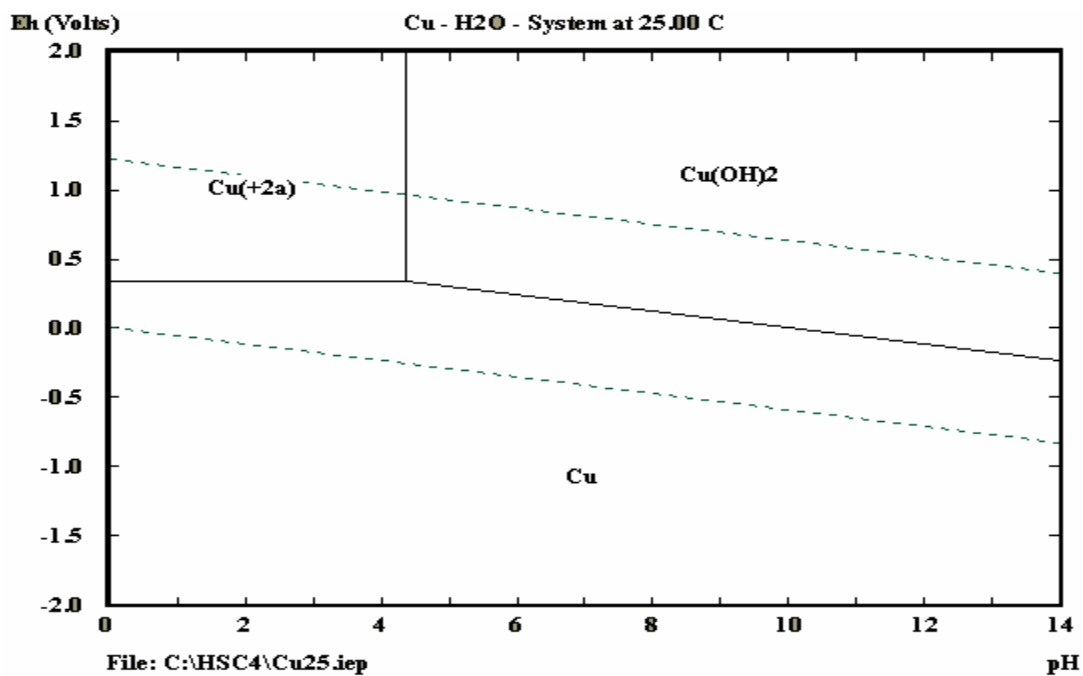
<b>Parámetro</b>	<b>Expresada como</b>	<b>Norma (mg/L)</b>
Arsénico	As (mg/L)	0.5
Bario	Ba (mg/L)	5.0
Cadmio	Cd (mg/L)	0.01
Carbamatos	Agente activo	0.1 *
Cianuro	CN (mg/L)	1.0
Cinc	Zn (mg/L)	5.0
Cobre	Cu (mg/L)	3.0
Compuestos fenólicos	Fenol (mg/L)	0.2
Compuestos organoclorados	Concentración de agente activo	0.05 *
Compuestos organofosforados	Concentración de agente activo	0.1 *
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup> (mg/L)	0.5
Dicloroetileno	Dicloroetileno	1. 0
Difenil policlorados	Concentración de agente activo	N.D. **

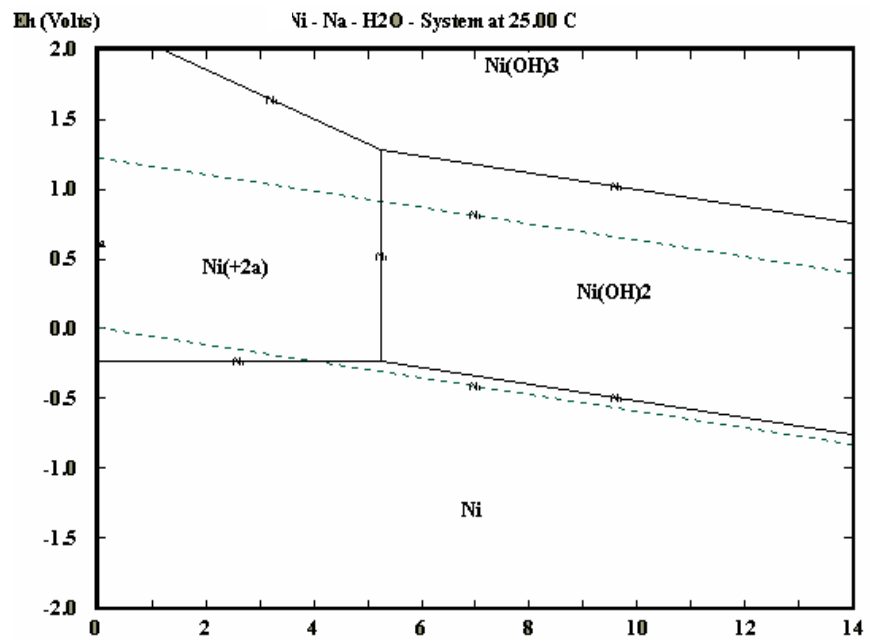
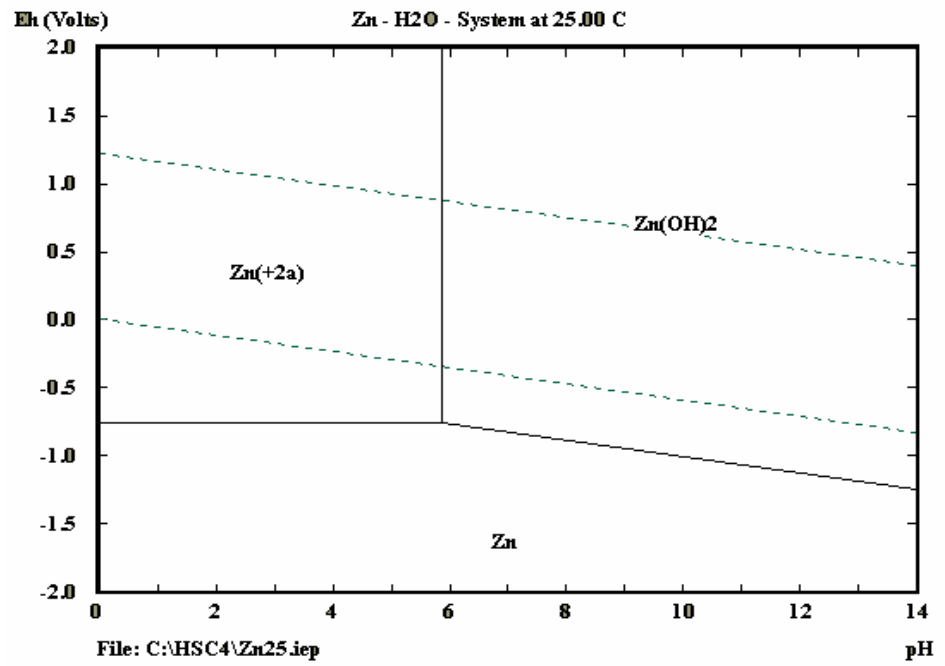
<b>Parámetro</b>	<b>Expresada como</b>	<b>Norma (mg/L)</b>
Mercurio	Hg (mg/L)	0.02
Mercurio orgánico	Hg (mg/L)	N.D. **
Níquel	Ni (mg/L)	2.0
Plata	Ag (mg/L)	0.5
Plomo	Pb (mg/L)	0.5
Selenio	Se (mg/L)	0.5
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono (mg/L)	1.0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono (mg/L)	1.0
Tricloroetileno	Tricloroetileno (mg/L)	1.0

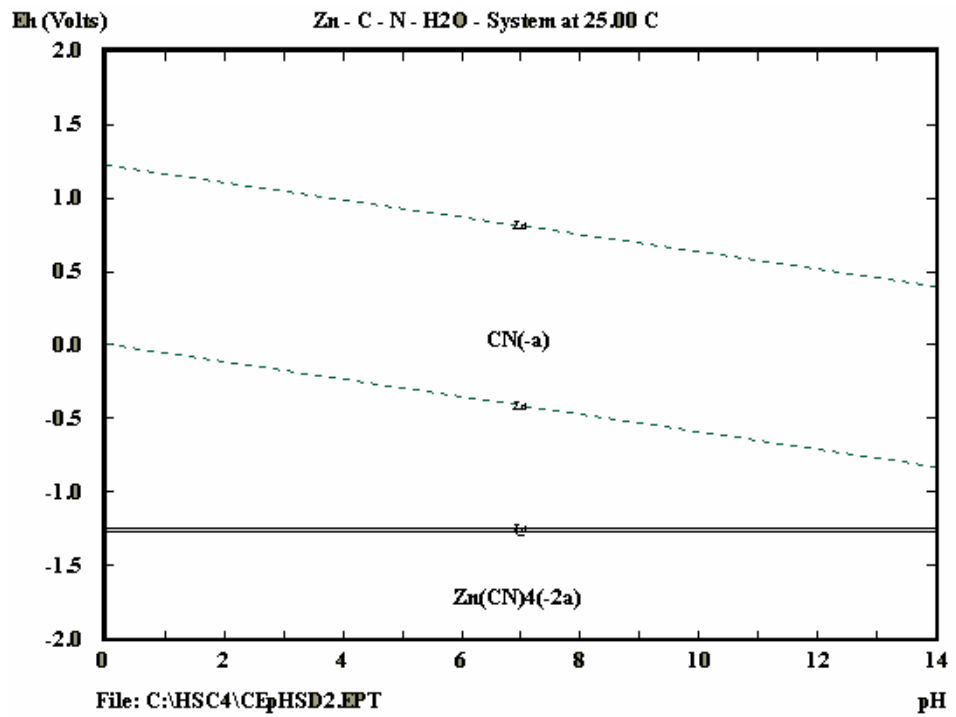
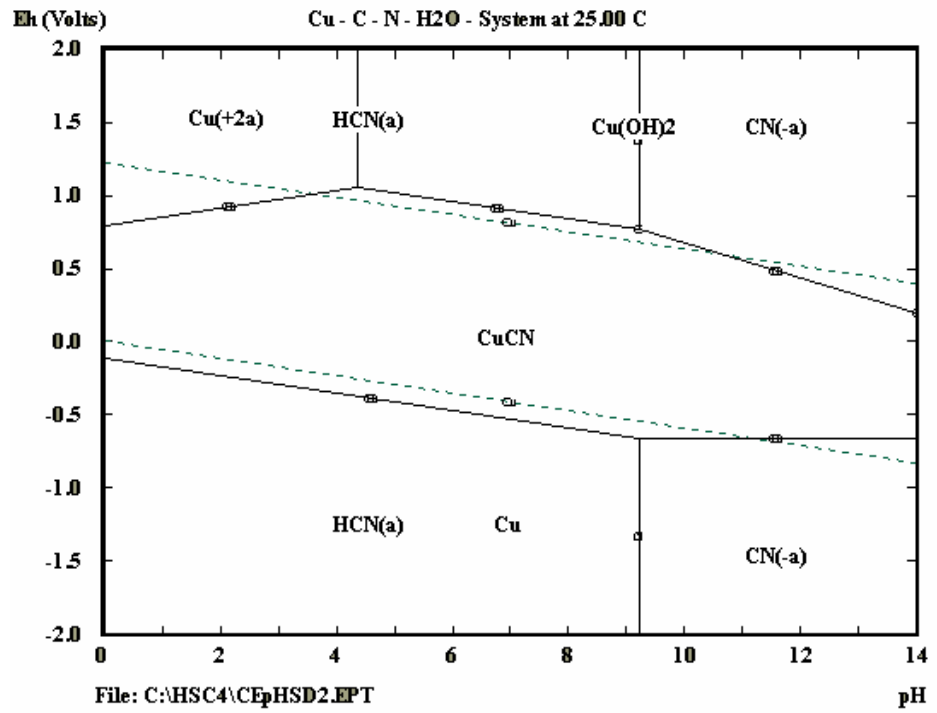
\* *Concentración de tóxico que produce la muerte del organismo.*

\*\* Se entenderá por valor No Detectable (N.D.) a la concentración de la sustancia que registra valores por debajo de los límites de detección empleando los métodos del manual Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (última edición)

### Anexo 4. Diagramas de Pourbaix para Cu, Ni y Zn. a 25°C. pH Vs Eh

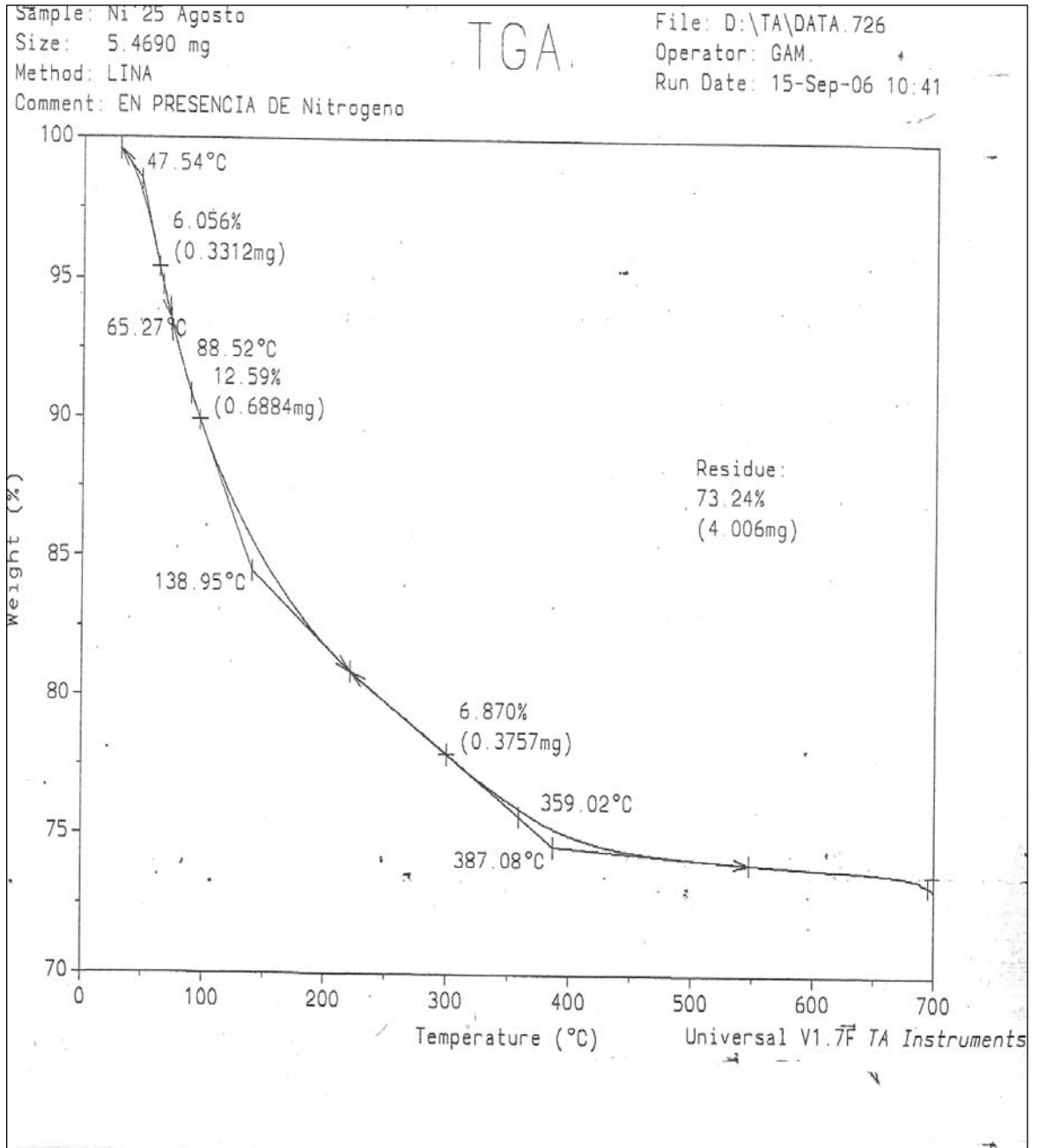




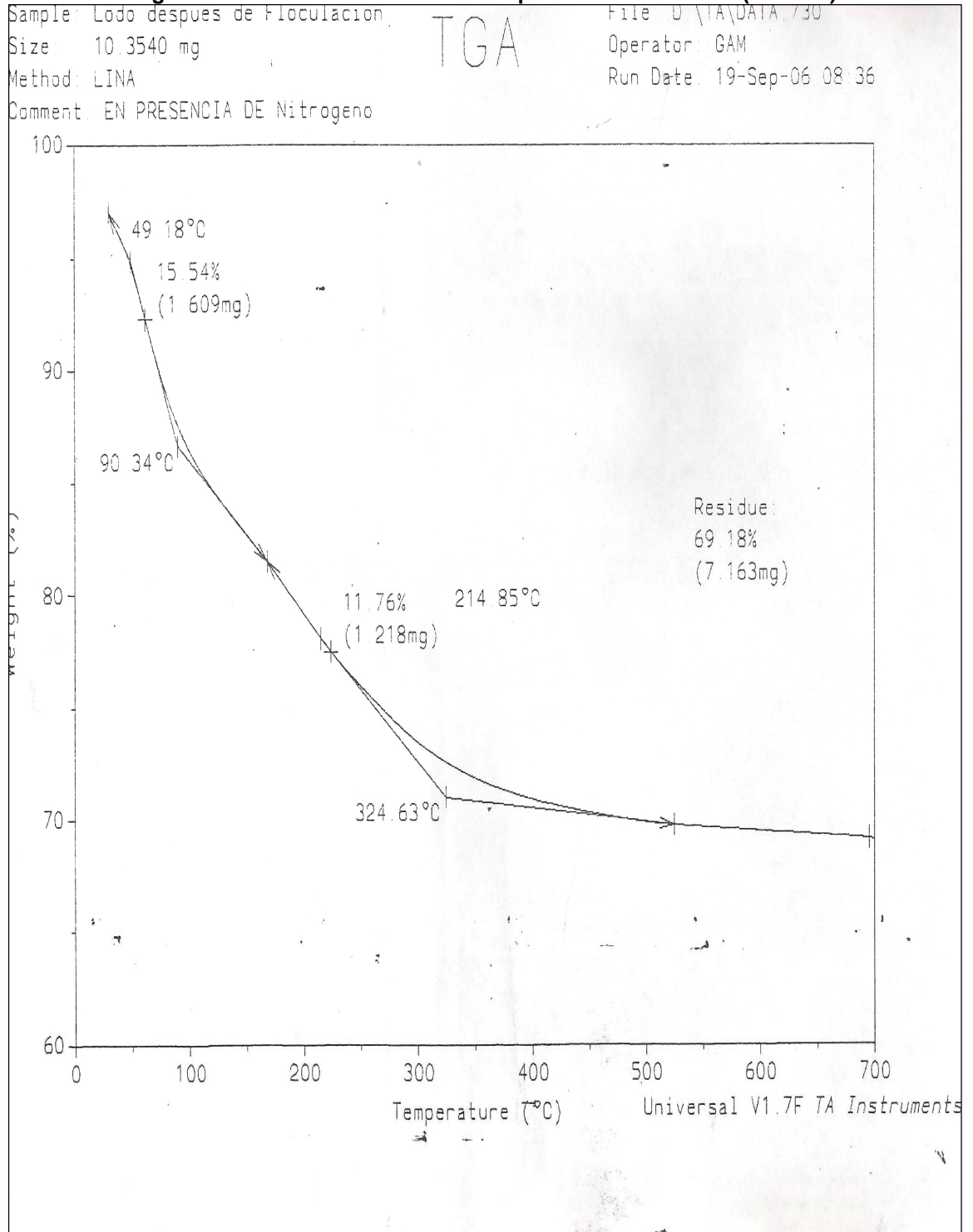


## Anexo 5. Resultados del Análisis Termogravimétrico para los Lodos de las líneas de Cobrizado, latonado y Niquelado

### Termograma del lodo de Níquel formado después de la floculación (Efluente)



**Termograma del lodo de cobre formado después de la floculación (Efluente)**

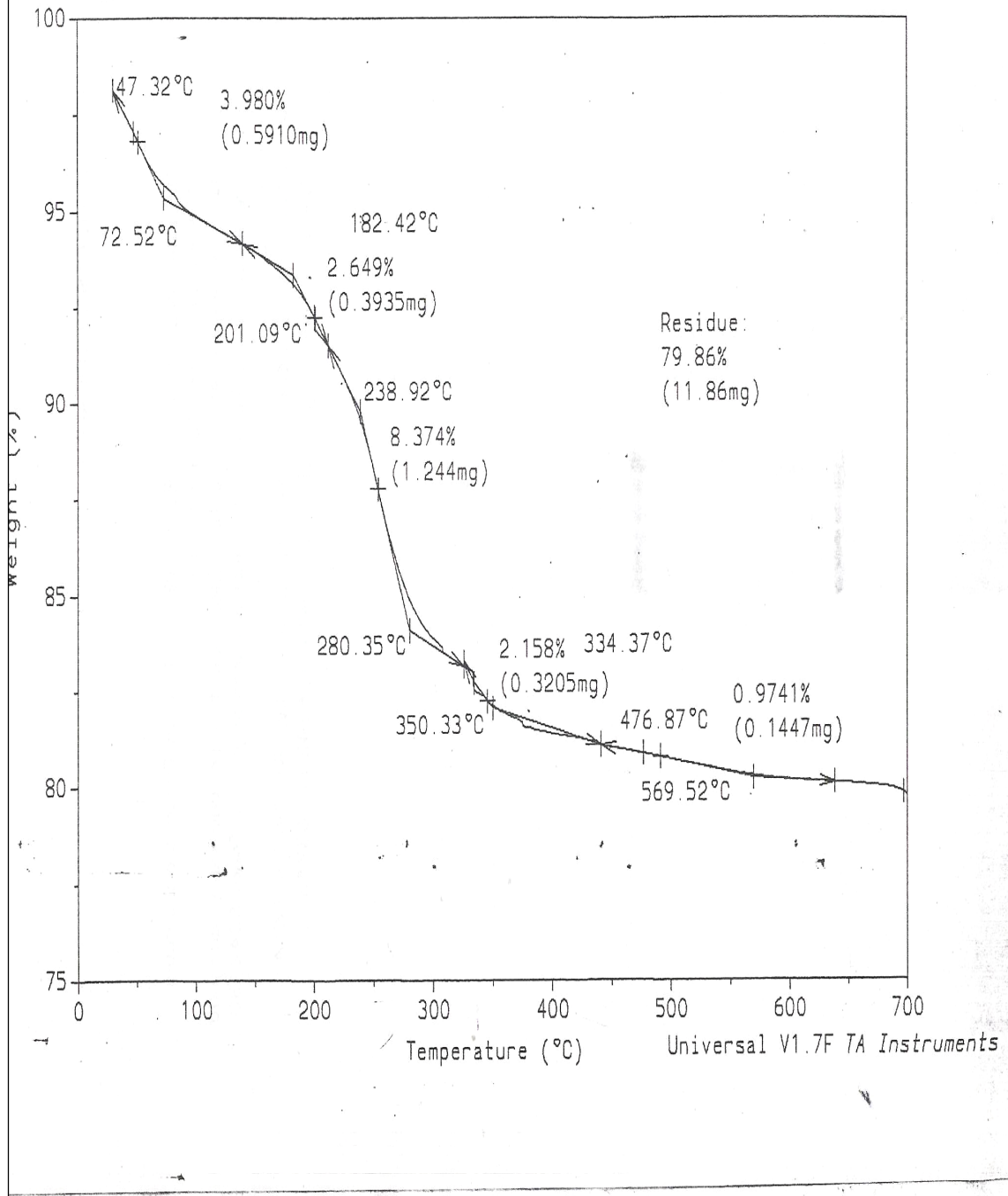


**Termograma del lodo de Latón formado después de la floculación (Efluente)**

Sample: Laton Floc 27Agosto  
 Size: 14.8520 mg  
 Method: LINA  
 Comment: EN PRESENCIA DE Nitrogeno

TGA

File: D:\TA\DATA.728  
 Operator: GAM.  
 Run Date: 18-Sep-06 09:33

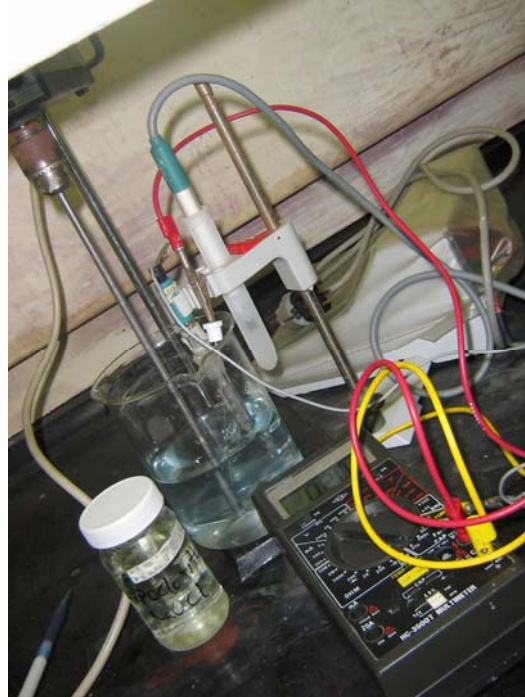


## Anexo 6. Fotos de las pruebas realizadas

Montaje para realizar la destilación de cianuros



Montaje para realizar la oxidación de cianuros



**Precipitado después de la oxidación**



**Precipitado después de la floculación**



## **ANEXO 7. Ficha técnica del floculante Rapifloc utilizado en los tratamientos para lograr la remoción de metales.**

### **RAPIFLOC**

#### **FICHA TECNICA**

**RAPIFLOC:** Es un coagulante, floculante utilizado para el tratamiento de clarificación de aguas potables, residuales domésticas e industriales. Su fuerte poder desestabilizador de cargas permite una completa coagulación de sólidos presentes en el agua, permitiendo obtener los niveles de turbidez y color que se requieran.

Especialmente recomendado para clarificar aguas con altos niveles de color, obteniéndose los parámetros ambientales deseados para descargar al medio ambiente.

Muy eficientes para el tratamiento de aguas con alto contenido de hierro.

#### **BENEFICIOS DEL PRODUCTO**

- 3 Muy efectivo a bajas concentraciones.
- 4 Su doble función de coagulante, floculante hace que no sea necesario en la mayoría de los casos el uso de floculante de alto peso molecular.
- 5 Puede ser diluído a cualquier concentración, sin que se afecte el manejo del producto.
- 6 Disminuye la dosificación requerida de coagulantes inorgánicos como sulfato de aluminio, permitiendo obtener bajos residuales de sulfatos.

#### **DESCRIPCION GENERAL**

El polímero **RAPIFLOC** es una mezcla de polímeros orgánicos e inorgánicos con las siguientes características:

Apariencia	:	Líquido amarillo ámbar
Olor	:	Característico
pH	:	11.0 – 12.5

#### **PRESENTACION**

El polímero **RAPIFLOC** se despacha a granel o en tambores plásticos de 270 kg., Dependiendo de las necesidades del cliente, no se debe almacenar por más de un (1) año.

## HOJA DE SEGURIDAD

### IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

**NOMBRE COMERCIAL** : **RAPIFLOC**  
**FORMULA QUIMICA** : **MEZCLA DE POLINUCLEARES DE ALUMINIO Y POLIMEROS ORGANICOS.**

### PROPIEDADES FISICAS

**COLOR** : **LIQUIDO AMBAR**  
**PUNTO DE EBULLICION:** **100°C**  
**DENSIDAD** : **1325 Kg/m3 A 20°C**  
**PUNTO DE FUSION** : **-3°C**  
**pH** : **11.0 - 12.5**  
**VISCOSIDAD** : **60 CPS A 20°C**  
**PRESION DE VAPOR** : **LA DEL AGUA**  
**SOLUBILIDAD** : **SOLUBLE EN AGUA**  
**% DE MATERIAL VOLATIL** **48%**

### PROPIEDADES EXPLOSIVAS Y DE INFLAMACION

**PUNTO DE IGNICION** : **MAYOR 450°C**  
**LIMITES DE EXPLOSION** : **NO APLICA**

**AGENTES ESPECIALES  
DE EXTINCION : NO APLICA**

**ALMACENAMIENTO Y PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAMES**

**MEDIDAS PERSONALES DE PROTECCION : GUANTES Y GAFAS DE PROTECCION.**

**PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAMES:**

**USE MATERIAL ABSORVENTE PARARECOGER LA MAYOR PARTE Y LUEGO LAVE CON ABUNDANTE AGUA.**

**PROCEDIMIENTO PARA DESTRUCCION : INCINERE EL PRODUCTO**

**PROCEDIMIENTO PARA ALMACENAMIENTO : ALMACENAR EN LUGAR VENTILADO**

**MATERIALES PARA ALMACENAMIENTO : MATERIAL SINTETICO**

**PRIMEROS AUXILIOS**

**INGESTION : ACUDA A UN MEDICO INMEDIATAMENTE**

**CONTACTO CON LA PIEL : LAVE CON AGUA LIMPIA Y JABON**

**CONTACTO CON LOS OJOS :**

**LAVE INMEDIATAMENTECON ABUNDANTE AGUALIMPIA DURANTE 15 MINUTOS Y DESPUES ACUDA AL MEDICO.**

**INHALACION : VAYA A UN LUGAR MEDICO**

Anexo 8. Plano General y puntos de Muestreo Seleccionados

● Puntos de muestreo

