

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“REDUCCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CIANURO  
MEDIANTE UN SISTEMA COMBINADO DE  
OSMOSIS INVERSA - ELECTROIONIZACION EN  
AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA  
GALVÁNICA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO QUIMICO

**BASTANTE TRIBEÑO MIGUEL ANGEL**  
**GUTIÉRREZ PALOMINO, DAVID BENEDICTO**

Callao, setiembre 2018

PERÚ

## PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por los Bachilleres **GUTIERREZ PALOMINO DAVID BENEDICTO** y **BUSTANTE TRIBEÑO MIGUEL ANGEL** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING. CALDERON CRUZ JULIO CESAR : PRESIDENTE

ING. SUERO IQUIAPAZA POLICARPO AGATON : SECRETARIO

ING. PANTOJA CADILLO AGERICO : VOCAL

ING. MEDINA COLLANA JUAN TAUMATURGO : ASESOR

Tal como está asentado en el Libro N° 2 Folio N° 114 y Acta N° 297 de Sustentación por la Modalidad de Tesis sin Ciclo de Tesis, de fecha **11 DE SETIEMBRE 2018**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de Tesis sin Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 309-2017-CU del 24 de Octubre de 2017.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi familia, a mis padres Fernando y Irma, a mi esposa Yaneth y mi hija Macarena, los cuales siempre me motivaron a seguir mis objetivos a pesar de las dificultades.

*Miguel Ángel Bastante Tribeño*

Dedico esta tesis a mi familia, a mis padres Juan y Luisa, mi esposa Alicia y mi hijo David Arturo por ser un motivo más que suficiente para crecer como profesional y como persona.

*David Benedicto Gutiérrez Palomino*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestros padres por su profunda dedicación y sacrificio para logramos ser unos profesionales íntegros, a Dios por guiarnos en el camino del bien y darnos bendiciones todos los días.

## INDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>8</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>10</b>
<b>PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>10</b>
1.1. Identificación del problema .....	10
1.2. Formulación del problema .....	11
1.2.1. Problema general .....	11
1.2.2. Problemas específicos .....	11
1.3. Objetivos de la investigación .....	12
1.3.1. Objetivo general .....	12
1.3.2. Objetivos específicos .....	12
1.4. Justificación .....	12
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>14</b>
<b>MARCO TEORICO</b> .....	<b>14</b>
2.1. Antecedentes del estudio .....	14
2.1.1. Ámbito internacional .....	14
2.2. Base teórica .....	15
2.2.1. Principios de recubrimientos metálicos .....	15
2.2.2. Elementos que intervienen en los recubrimientos metálicos .....	16
2.2.3. Diagrama de entrada y salida de un proceso electrolítico .....	16
2.2.4. Procesos electrolíticos cianurados .....	17
2.2.5. Diagrama de bloques de un proceso electrolítico .....	18
2.2.6. Enjuague simple .....	19
2.2.7. Enjuague múltiple en cascada a contracorriente .....	20
2.2.8. Química del cianuro .....	20
a) Principales impactos ambientales .....	20
b) Qué es el cianuro .....	21
c) Síntomas a la exposición del cianuro .....	21

d) Toxicidad de cianuro en agua residuales galvánicas .....	22
e) Cianuro en la galvanoplastia .....	22
2.3. Proceso de tratamiento de aguas de lavado para recuperación de metales .....	25
2.3.1. Electrólisis .....	25
2.3.2. Cementación .....	26
2.3.3. Intercambio iónico .....	27
2.4. Procesos de tratamiento de cianuro de las aguas residuales Galvánicas .....	27
2.4.1. Oxidación mediante hipoclorito de sodio .....	28
2.4.2. Proceso de oxidación química con cloro gaseoso .....	29
2.4.3. Oxidación con ozono .....	30
2.4.4. Oxidación con peróxido de hidrógeno .....	32
2.4.5. Oxidación electroquímica .....	33
2.4.6. Electrocoagulación (PEC) .....	34
2.4.7. Proceso de oxidación avanzada (AOP) .....	36
2.4.8. Tratamiento por osmosis inversa .....	37
2.4.9. Electrodialisis .....	38
2.5. Electroionización .....	39
2.5.1. Elementos de la celda de electroionización .....	40
Electrodos .....	40
Celda de concentrado .....	41
Celda diluida .....	42
2.5.2. Proceso de transporte de iones en procesos de electroionización...	43
2.5.3. Ventajas de los procesos de electroionización .....	44
2.6. Sistema combinado de Osmosis Inversa – Electroionización .....	45
2.7. Marco legal.....	46
2.7.1. Decreto Supremo 002-2008 MINAM .....	46
2.7.2. Decreto Supremo 003-2010 MINAM .....	47
2.7.3. Decreto Supremos 010-2010 MINAM .....	47
2.7.4. Decreto Supremo N°021-2009 .....	47

2.8. Definición de términos básicos .....	48
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>49</b>
<b>VARIABLES E HIPÓTESIS .....</b>	<b>49</b>
3.1. Variables de la investigación .....	49
3.2. Operacionalización de variables .....	49
3.3. Hipótesis .....	51
3.3.1. Hipótesis general .....	51
3.3.2. Hipótesis específica .....	51
3.3.3. Variables e indicadores .....	51
Variables independientes (X) .....	51
Variables dependientes (Y) .....	52
Indicadores .....	52
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>53</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>53</b>
4.1. Tipo de investigación .....	53
4.2. Diseño de la investigación .....	53
4.2.1. Diseño experimental en el módulo de osmosis inversa .....	54
4.2.2. Diseño experimental en el módulo de electroionización .....	54
4.3. Población y muestra .....	55
4.3.1. Población .....	55
4.3.2. Muestra .....	55
4.4. Técnicas en instrumentos de recolección de datos .....	55
4.4.1. Equipo experimental .....	55
4.4.2. Técnicas .....	56
4.4.3. Instrumentos .....	56
4.5. Procedimiento de recolección de datos .....	56
4.5.1 Recolección de agua residual de la industria galvánica .....	56
4.5.2 Proceso combinado de osmosis inversa y electroionización.....	57
4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	58

4.7. Ecuaciones Básicas .....	58
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>60</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>60</b>
5.1. Conductibilidad de permeado en el módulo de osmosis inversa en función de los parámetros de operación .....	60
<b>CAPITULO VI .....</b>	<b>71</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>71</b>
6.1. Efecto de la tensión aplicada .....	71
6.2. Efecto del flujo volumétrico de la corriente de permeado.....	72
6.3. Efecto de la concentración inicial de cianuro total .....	72
<b>CAPITULO VII .....</b>	<b>73</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>CAPITULO VII .....</b>	<b>74</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>74</b>
<b>CAPITULO IX .....</b>	<b>75</b>
<b>REFERENCIALES .....</b>	<b>75</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA N° 2.1:</b> Composición del baño de zinc .....	17
<b>TABLA N° 2.2:</b> Composición del baño de cobre alcalino .....	18
<b>TABLA N° 2.3:</b> Composición del baño de Plata .....	18
<b>TABLA N° 2.4:</b> Resumen de los residuos y su origen.....	21
<b>TABLA N° 2.5:</b> Complejo metálicos.....	23
<b>TABLA N° 2.6:</b> Estabilidad de complejos de cianuro .....	24
<b>TABLA N°2.7:</b> Límites Máximos Permisibles en la calidad del agua.....	46
<b>TABLA N° 2.8:</b> Límites Máximos Permisibles para la descarga de Efluentes Líquidos.....	47
<b>TABLA N°2.9:</b> Límites Máximos Permisibles descarga de aguas residuales no domésticas.....	47
<b>TABLA N°3.1:</b> Operacionalización de variables .....	50
<b>TABLA N°3.2:</b> Indicadores.....	52
<b>TABLA N°4.1:</b> Matriz de experimentos del módulo de osmosis inversa.....	54
<b>TABLA N°4.2:</b> Matriz de experimentos del módulo de electroionización....	54
<b>TABLA N°5.1:</b> Conductibilidad de permeado de equipo de osmosis.....	60
<b>TABLA N°5.2:</b> Concentración de cianuro total en la corriente diluida en equipo de electroionización .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA N° 2.1:</b> Principio de la electrodeposición metálica .....	16
<b>FIGURA N° 2.2:</b> Balance de materiales .....	17
<b>FIGURA N° 2.3:</b> Diagrama de flujo de un proceso de cobreado alcalino....	19
<b>FIGURA N° 2.4:</b> Enjuague Simple .....	19
<b>FIGURA N° 2.5:</b> Enjuague Múltiple en Cascada a Contracorriente .....	20
<b>FIGURA N° 2.6:</b> Reducción de formación del cobre .....	26
<b>FIGURA N° 2.7:</b> Diagrama de la oxidación mediante hipoclorito de sodio	29
<b>FIGURA N° 2.8:</b> Diagrama de la oxidación mediante cloro .....	30
<b>FIGURA N° 2.9:</b> Diagrama de la oxidación mediante ozono .....	32
<b>FIGURA N° 2.10:</b> Diagrama de la oxidación mediante Peróxido .....	33
<b>FIGURA N° 2.11:</b> Diagrama de la oxidación mediante cloro producido In situ .....	34
<b>FIGURA N° 2.12:</b> Diagrama de la oxidación mediante cloro .....	36
<b>FIGURA N° 2.13:</b> Diagrama de oxidación mediante oxidación avanzada	37
<b>FIGURA N° 2.14:</b> Diagrama de osmosis inversa .....	38
<b>FIGURA N° 2.15:</b> Diagrama de electrodiálisis .....	39
<b>FIGURA N° 2.16:</b> Disociación del agua durante el EDI .....	40
<b>FIGURA N° 2.17:</b> Migración de Iones en Celda de Concentrado.....	42
<b>FIGURA N° 2.18:</b> Migración de Iones a la Celda de cianuro.....	43
<b>FIGURA N° 2.19:</b> Diagrama de electro ionización.....	44
<b>FIGURA N° 2.20:</b> Esquema de sistema combina de Osmosis Inversa-Electro ionización .....	46
<b>FIGURA N° 3.1:</b> Definición de variables .....	49
<b>FIGURA N° 4.1:</b> Diagrama Proceso de Osmosis Inversa .....	57
<b>FIGURA N° 4.2:</b> Diagrama Proceso de Electro Ionización .....	57

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>GRAFICO N° 5.1:</b>	Concentración de Cianuro total VS Voltaje a la concentración inicial de 8,37 ppm y flujo de 300 L/h	<b>62</b>
<b>GRAFICO N° 5.2:</b>	Concentración de Cianuro total vs Voltaje a la concentración inicial de 23,45 ppm y flujo de 300 l/h	<b>63</b>
<b>GRAFICO N° 5.3:</b>	Concentración de Cianuro total vs Flujo a la concentración inicial de 8,37 ppm voltaje a 18 v	<b>64</b>
<b>GRAFICO N° 5.4:</b>	Concentración de Cianuro total vs Concentración inicial de Cianuro total a 10 voltios y flujo 300 l/h	<b>65</b>
<b>GRAFICO N° 5.5:</b>	Concentración de Cianuro total vs Concentración inicial de Cianuro total a 18 voltios y flujo de 500 l/h	<b>66</b>
<b>GRAFICO N° 5.6:</b>	Concentración de Cianuro total vs Concentración inicial de Cianuro total y flujo de 500 l/h	<b>67</b>
<b>GRAFICO N° 5.7:</b>	Concentración de Cianuro total vs Concentración inicial de Cianuro total y flujo de 500 l/h	<b>68</b>
<b>GRAFICO N° 5.8:</b>	Concentración de cianuro total vs Concentración inicial de Cianuro total y flujo de 500 l/h	<b>69</b>

## RESUMEN

El cianuro es una sustancia que es liberado por varias industrias, como la galvanoplastia, la producción de acero, la extracción de oro y plata y la joyería.

La electroionización es un proceso de separación que eliminan los iones cargados mediante la aplicación de un campo eléctrico. Las resinas de intercambio iónico se incorporan en el canal de proceso para proporcionar una ruta para la migración mejorada de iones. Las resinas de intercambio iónico aumentan la conductividad a través del canal de proceso y permiten el transporte de iones hacia las membranas de intercambio iónico con agua de baja conductividad.

Las resinas de intercambio iónico se regeneran electroquímicamente de forma continua mediante protones ( $H^+$ ) e iones hidroxilo ( $OH^-$ ) a través de una reacción de división de agua en el campo eléctrico aplicado.

En el presente trabajo se ha investigado la influencia de parámetros operacionales del módulo de electroionización como tensión aplicada, flujo de la corriente diluida y concentración total de alimentación de cianuro con respecto a la concentración de cianuro de agua residual de la industria galvánica.

Los resultados muestran, cuando el voltaje es 18V, flujo de 500 L/h, concentración inicial de cianuro total entre 10 y 25 ppm sea alcanzado un porcentaje de separación de 99,8 % de separación

**KEYWORDS:** electrodiálisis, cianuro, electroionización

## **ABSTRACT**

Cyanide is a substance that is released by various industries, such as electroplating, steel production, gold and silver mining and jewelry.

Electroionization is a separation process that removes charged ions through the application of an electric field. The ion exchange resins are incorporated into the process channel to provide a route for improved ion migration. The ion exchange resins increase the conductivity through the process channel and allow the transport of ions to the ion exchange membranes with water of low conductivity.

The ion exchange resins are regenerated electrochemically continuously by protons ( $H^+$ ) and hydroxyl ions ( $OH^-$ ) through a water division reaction in the applied electric field.

In the present work the influence of operational parameters of the electroionization module as applied voltage, diluted current flow and total concentration of cyanide feed with respect to the concentration of residual water cyanide of the galvanic industry has been investigated.

The results show, when the voltage is 18V, flow of 500 L / h, initial concentration of total cyanide between 10 and 25 ppm is reached a separation percentage of 99.8% separation...

**KEYWORDS:** electrodialysis, cyanide, electroionization

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación del problema**

La Galvanotecnia es un proceso que consiste en la transformación de una superficie generalmente metálica mediante un recubrimiento electrolítico. En general, los procedimientos tienen como finalidad modificar las propiedades de la superficie de los metales y estas pueden estar asociadas a motivos decorativos o funcionales dentro de los cuales se encuentran: Aumento de resistencia a la corrosión, aumento de resistencia al ataque de sustancias químicas, incremento de la resistencia a la fricción y al rayado, mejoramiento de propiedades eléctricas o mecánicas.

Los procesos electrolíticos presentan contaminación emitiendo vapores tóxicos como ácidos, cianuro y descarga de aguas residuales con alta concentración de metales pesados, cianuros, cromo, ácidos, etc. Merecen una especial consideración aquellos procesos que implican el uso de sustancias altamente tóxicas o cancerígenas, y que presentan dificultades para su destrucción o estabilización. Algunos de estos procesos son: procesos cianurados, incluyendo cinc, cobre, latón, bronce y plata, Cromado.

Los principales aspectos ambientales que se pueden encontrar en un taller de galvanotecnia son el consumo de energía y agua, consumo de materias primas, vertidos de aguas residuales, residuos sólidos y líquidos, y emisiones a la atmósfera.

Como la mayor parte de los procesos son acuosos, el consumo de agua y su gestión y vertidos son quizás los aspectos ambientales más relevantes, y muy relacionados con estos el uso de materias primas y su pérdida en forma de contaminación ambiental.

El agua de alimentación de los enjuagues es la principal causa de consumo de agua de los talleres de galvanotecnia. Se utiliza para evitar la contaminación entre baños.

Los enjuagues contienen pequeñas concentraciones de las sales arrastradas lo que constituye la contaminación de esas aguas y lo que hace necesario un tratamiento, en orden a eliminar esa contaminación y producir un vertido con el mínimo impacto ambiental.

La electroionización es un proceso de separación que utiliza intercambiadores de iones a través de las membranas y una fuerza eléctrica de conducción potencial en cuanto a importancia económica es que se trate. Según Strathmann (2004), “la electroionización se utiliza generalmente en la obtención de agua ultra pura, durante los últimos años se viene investigando en el tratamiento de ciertos efluentes industriales para reciclar el agua”.

Los efluentes de la industria galvánica contienen metales pesados, iones cromo y cianuro que necesitan implementar tecnologías para su tratamiento y vertimiento a la red de alcantarillado

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cuáles serán los parámetros de operación más adecuados para la reducción de la concentración de cianuro mediante de un sistema combinado de Osmosis inversa y Electro ionización en las aguas residuales de la industria galvánica?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- 1) ¿Cuáles serán los parámetros y niveles de operación (presión, flujo, concentración y alimentación, densidad de corriente) de sistema combinado de Osmosis inversa y Electro ionización?

- 2) ¿Cuál es el porcentaje de remoción de iones cianuro del agua de lavado de la industria galvánica mediante sistema combinado de Osmosis inversa y Electro ionización?
- 3) ¿Cuál es la concentración de iones cianuro en el agua de lavado de la industria galvánica al final del proceso?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar los parámetros operacionales de un sistema combinado de osmosis inversa y electro ionización para la remoción de iones cianuro de aguas de lavado de la industria galvánica.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- a) Identificar los parámetros y niveles de operación de sistema combinado de osmosis inversa y electroionización.
- b) Determinar el porcentaje de remoción de iones cianuro del agua de lavado de la industria galvánica mediante sistema combinado de Osmosis inversa y Electroionización.
- c) Determinar la concentración de iones cianuro en el agua de lavado de la industria galvánica al final del proceso.

### **1.4. Justificación**

La industria galvánica utiliza gran cantidad de productos químicos y un alto consumo de agua para sus procesos; según Chabalina, 2002, “el aprovechamiento de la materia prima es muy bajo en este tipo de industria, por ejemplo, los metales se utilizan sólo al 30-60 %, los ácidos



y álcalis entre 20-40 % y el consumo de agua de alta calidad es de 0.5 - 1.0m<sup>3</sup> por cada m<sup>2</sup> de superficie tratada”. Como los productos químicos no son utilizados al 100% en el proceso productivo, estos son incorporados a las aguas residuales y a los cuerpos de agua, convirtiendo a la industria galvánica en una de las actividades industriales más peligrosas para el ambiente y el hombre, por su alta concentración de metales pesados y sustancias tóxicas diversas.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del estudio**

##### **2.1.1 Ámbito Internacional**

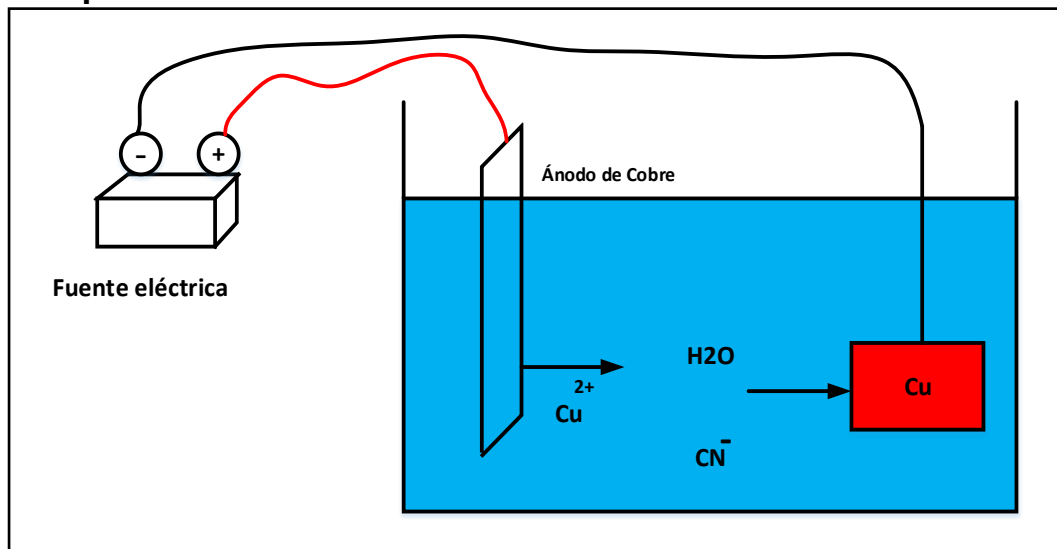
- 1) Marco Troya Fuertes, desarrolló la tesis de grado de ingeniero de minas sobre el estudio de “Procesos Alternativos de Cianuración”, en el cual mediante el incremento de oxígeno se optimizan los resultados para ver la incidencia del peróxido de hidrógeno sobre la cinética de cianuración.
  
- 2) El Ing. Químico Guillermo Pincay Romero, desarrolló la tesis titulada “Desarrollo de un Reactor Químico para Tratar Aguas Contaminadas con Cianuro”. Con este trabajo, en el que se estudió la destrucción del cianuro libre con la aplicación del ozono a las aguas residuales provenientes de las plantas de extracción de oro mediante cianuro, se analizó la posibilidad de que el cianuro libre, en solución, pueda transformarse, por oxidación, en formas de compuestos menos tóxicos, como por ejemplo en cianatos (OCN).
  
- 3) Luz Quispe; María del Carmen Arteaga; Edgar Cárdenas; Luis López Carlos Santelices; Eduardo Palenque, Saúl Cabrera, Han publicado en la revista boliviana de química un artículo cuyo título es “Eliminación de Cianuro mediante Sistema Combinado UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>” eliminando cianuro en medio acuoso mediante la adición del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como agente oxidante, y mediante el proceso de la fotocatalisis heterogénea con óxido de titanio activado con radiación UV.

## **2.2 Base Teórica**

### **2.2.1 Principios de recubrimientos metálicos**

Los procesos de recubrimientos electrolíticos también denominados galvanotecnia consisten en depositar por vía electroquímica finas capas de metal sobre la superficie de una pieza sumergida en una solución de iones metálicos. Para ello se emplean productos químicos relativamente puros, sales y metales, de forma que durante la operación se depositan completamente los metales empleados sobre las piezas. Las capas formadas generalmente son de un espesor entre 1 y 100  $\mu\text{m}$ . El metal que constituye la capa se encuentra en el electrolito en forma de iones. El principio básico de los procesos de recubrimiento electrolítico con ánodos solubles consiste en la conversión del metal del ánodo en iones metálicos que se distribuyen en la solución. Estos iones se depositan en el cátodo (pieza que será recubierta) formando una capa metálica en su superficie. Los procesos de recubrimiento electrolítico son reacciones de oxido-reducción. El metal del ánodo se disuelve con carga positiva. Los iones metálicos en solución se reducen o metalizan sobre las piezas a recubrir que, ayudadas por una fuente externa de corriente continua, actúan como cátodos. Como ejemplo se presenta la figura, en este caso el cobre, se disuelve del ánodo y se deposita sobre la pieza con ayuda de corriente eléctrica.

FIGURA N°2.1  
PRINCIPIO DE LA ELECTRODEPOSICIÓN METÁLICA



Fuente: Propia

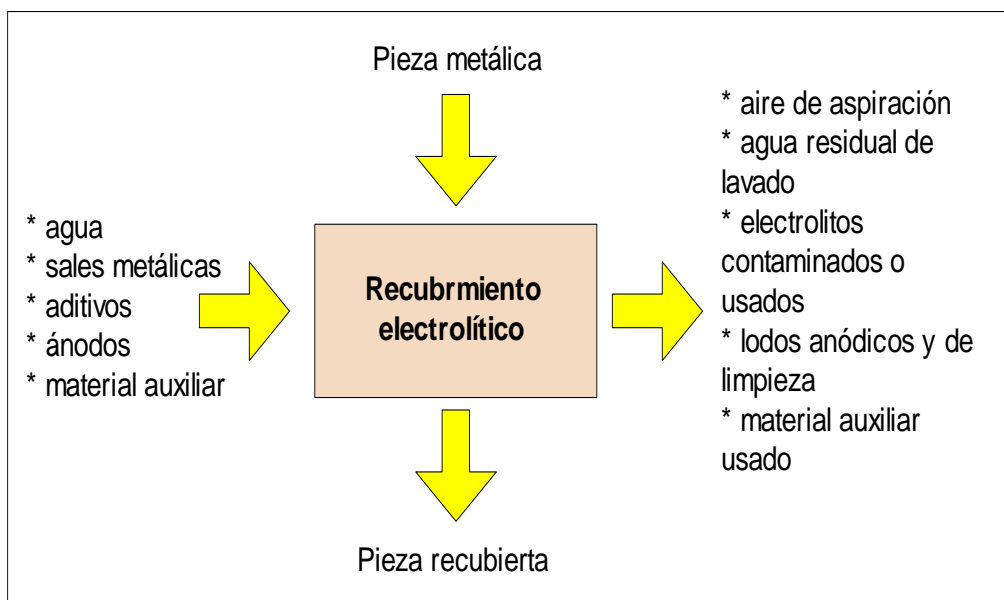
### 2.2.2 Elementos que intervienen en los Recubrimientos Metálicos

Los elementos principales en una planta de recubrimientos electrolíticos son: Fuente eléctrica continua, electrodos, celdas electrolíticas, sistema de calefacción, sistema de agitación, sistemas de filtración y conductores

### 2.2.3 Diagrama de entrada y salida de un proceso electrolítico

En el siguiente diagrama se indica los materiales que ingresan y salen al proceso electrolítico así mismo las emisiones gaseosas y agua residual que se produce en el proceso.

FIGURA N° 2.2  
BALANCE DE MATERIALES



Fuente: Propia

#### 2.2.4 Procesos electrofíticos Cianurados

Los **procesos electrofíticos** para recubrir objetos de hierro con cinc con la finalidad de protegerlos de la corrosión se hacen en base a soluciones alcalinas **cianuradas** (cianuro de sodio, óxido de cinc, soda cáustica).

TABLA N° 2.1  
COMPOSICIÓN DEL BAÑO DE ZINC

N°	Sustancia	Concentración
1	óxido de cinc	10- 43 g/L
2	hidróxido de sodio	50-75 g/L
3	cianuro de sodio	5-100 g/L

Fuente: Propia

TABLA N°2.2  
COMPOSICIÓN DEL BAÑO DE COBRE ALCALINO

N°	Sustancia	Concentración
1	cianuro de cobre	15-42 g/L
2	cianuro de sodio	24-52 g/L
3	carbonato sódico	15 g/L

Fuente: Propia

TABLA N°2.3  
COMPOSICIÓN DEL BAÑO DE PLATA

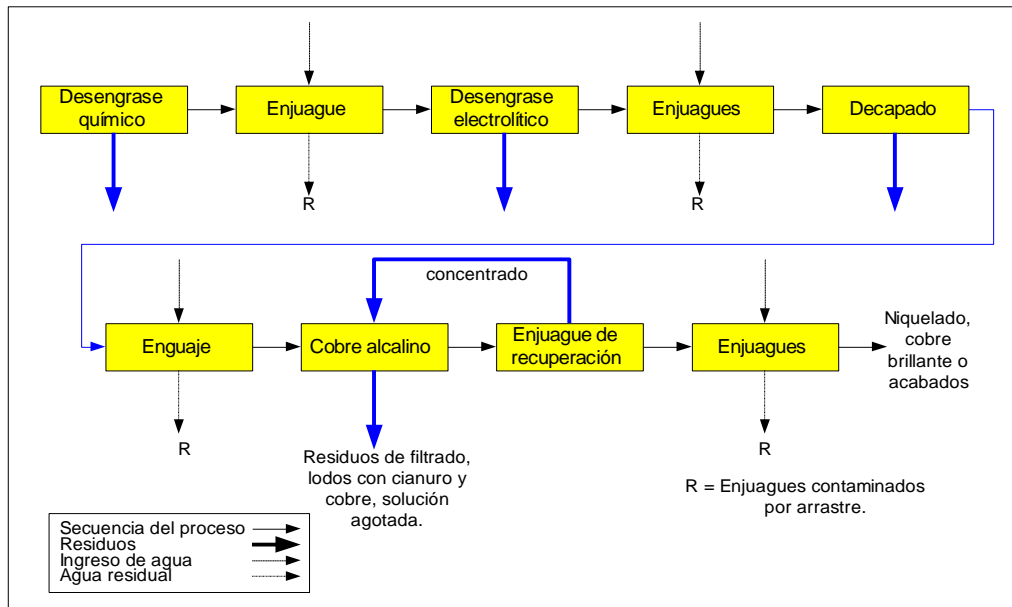
N°	Sustancia	Concentración
1	cianuro doble de plata y potasio	30 - 65 g/L
2	cianuro potásico	100 – 160 g/L
3	carbonato de potasio	15 – 20 g/L

Fuente: Propia

### 2.2.5 Diagrama de bloques de un proceso electrolítico

En la figura se indica el proceso de recubrimiento de cobre sobre una pieza metálica a partir de una solución cianurada, cuyas etapas del proceso son: desengrase químico, desengrase electroquímico y cobre alcalino. Como se observa a la salida de todas las etapas es necesario sus respectivos enjuagues con agua desionizada.

FIGURA N°2.3  
 DIAGRAMA DE FLUJO DE UN PROCESO DE COBREDO ALCALINO

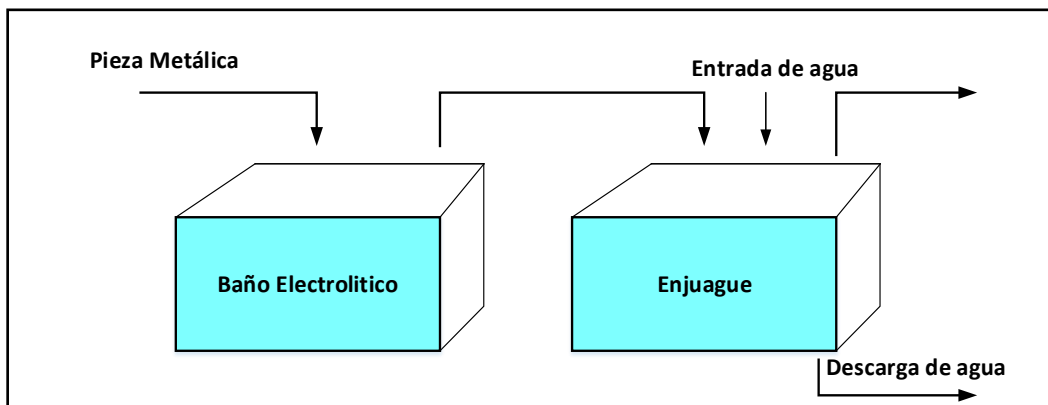


Fuente: Propia

### 2.2.6 Enjuague Simple

Con este sistema de enjuague, en general, se requieren grandes caudales de agua para mantener la razón de dilución.

FIGURA N°2.4  
 ENJUAGUE SIMPLE



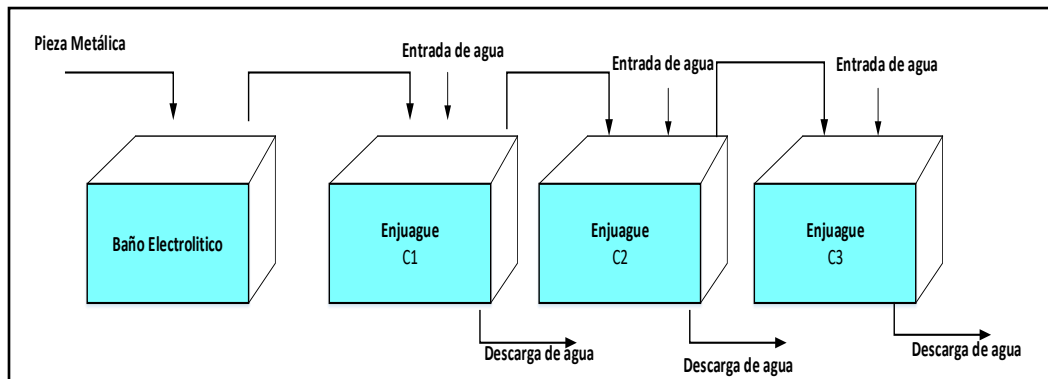
Fuente: Propia

## 2.2.7 Enjuague múltiple en cascada a contracorriente

Los sistemas de enjuague múltiples son los más adecuados para reducir el consumo de agua, manteniendo la calidad de enjuague requerida. Valores de reducción en el consumo de agua, respecto a enjuagues simples, del orden del 95 % o superiores, son fácilmente alcanzables con esta técnica.

La concentración en cada tanque es de  $C_1 > C_2 > C_3$ .

FIGURA N°2.5  
ENJUAGUE MÚLTIPLE EN CASCADA A CONTRACORRIENTE



Fuente: Propia

## 2.2.8 Química del Cianuro

### a. Principales impactos ambientales

El impacto ambiental producido por los procesos electrolíticos tiene directa relación con la naturaleza tóxica de muchos de los compuestos químicos involucrados, en particular es necesario hacer especial mención a los metales pesados tales como el cromo hexavalente y la especie cianuro. Estos residuos contaminantes, presentes en los efluentes líquidos descargados,



sólidos generados y vapores emitidos a la atmósfera, afectan al medio ambiente, así como la salud de las personas.

A continuación, en la Tabla N°2.4 se presenta un resumen de los residuos y su origen.

TABLA N° 2.4  
RESUMEN DE LOS RESIDUOS Y SU ORIGEN

Residuo	Riesgo	Corriente	Proceso
Cianuro	Toxicidad	Baño de recubrimiento	Electrodeposición de baños cianurados
		Agua de lavado	
Emisiones de vapores	Toxicidad	Atmosfera de trabajo	Desengrase, baño de cobre, niquelado, cromado
Cromatos	Toxicidad	Baño de recubrimiento	Electrodeposición de cromo
		Agua de lavado y lodos	

Fuente: Propia

**b. Que es el Cianuro**

El cianuro es una sustancia, potencialmente letal, que actúa rápidamente y puede existir de varias formas: como sustancia gaseosa el cianuro de hidrógeno( HCN) o el cloruro de cianógeno ( C<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>), cristales como el cianuro de sodio ( NaCN) y de potasio (KCN) . Los cianuros simples (HCN, NaCN y KCN) son compuestos que se disocian en un anión cianuro CN<sup>-</sup> y cationes H<sup>+</sup> , Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> estos últimos se disocian totalmente a partir de sus sales acuosas.

### **c. Síntomas a la exposición del Cianuro**

Las personas expuestas a pequeñas cantidades de cianuro por la respiración, la absorción de la piel o el consumo de alimentos contaminados con cianuro pueden presentar algunos o todos de los síntomas siguientes en cuestión de minutos:

Respiración rápida, agitación, mareo, dolor de cabeza, náusea y vómito, ritmo cardíaco rápido, Convulsiones, presión sanguínea baja, ritmo cardíaco lento pérdida de la conciencia, lesión en el pulmón y falla respiratoria que lleva a la muerte.

### **d. Toxicidad de Cianuro en Agua Residuales Galvánicas**

El máximo nivel contaminante (MNC) de cianuro en aguas residuales establecida por el ministerio de tecnología de ciencia y ambiente, es 0,2 mg/L HCN, esto es 0,182 mg/L como CN<sup>-</sup>. Las aguas residuales de los talleres de tratamiento de superficies tienen principalmente por origen las aguas de enjuagues y los baños agotados que provienen de baños cianurados de cobreado, plateado y cincado que contienen todas grandes cantidades de cianuro y una alta concentración de metales disueltos (oro, plata, cobre, cinc y cadmio).

### **e. Cianuro en la Galvanoplastia**

El cianuro (ligando), fácilmente se une con una variedad de iones metálicos ( Zn<sup>2+</sup> , Cu<sup>1+</sup> , Cu<sup>2+</sup> , Ag<sup>1+</sup>, Au<sup>3+</sup> y Fe<sup>3+</sup> ) formando complejos metálicos. Electroquímicamente, la formación de un complejo de cianuro – metal, altera el potencial de reducción, Este cambio previene depósitos por inmersión espontáneamente en las celdas electrolíticas.

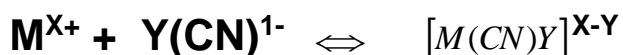
En la formación del complejo, cada Ion de cianuro se une a un Ion metálico vía un sitio de coordinación como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA N°2.5  
COMPLEJO METÁLICOS

ION METALICO	POTENCIAL NORMAL	COMPLEJO DE CIANURO	POTENCIAL NORMAL
Ni <sup>2+</sup>	- 0,25V	[Ni(CN)4] <sup>2-</sup>	-0,8V
Cu <sup>1+</sup>	+0,52V	[Cu(CN)2] <sup>2-</sup>	-1,17V
Ag <sup>1+</sup>	+0,80V	[Ag(CN)2] <sup>1-</sup>	-0,31V
Au <sup>1+</sup>	+1,68V	[Au(CN)2] <sup>1-</sup>	-0,67V
Zn <sup>2+</sup>	-0,76V	[Zn(CN)4] <sup>-2</sup>	-1,28V

Fuente: Propia

La constante de formación es derivada desde la expresión de equilibrio como se muestra a continuación.



En la ecuación, el Ion metálico y cianuro reaccionan para la formación del complejo de cianuro metálico, la tabla siguiente se muestra que la estabilidad de los respectivos complejos de cianuro varía de acuerdo con el Ion metálico.

TABLA N°2.6  
CONSTANTE DE FORMACION DE COMPLEJOS MERALICOS  
CIANURADOS

Ion complejo	Constante de formación	Cianuro total 10mg/L	Cianuro total 100mg/L	Cianuro total 1000mg/L	Cianuro total 10000mg/L
$[Ag(CN)_2]$ 1	$1 \times 10^{-21}$	0,0002	0,0004	0,0009	0,004
$[Ni(CN)_4]$ 2-	$1 \times 10^{-22}$	0,215	0,340	0,54	1,324
$[Zn(CN)_4]$	$1,3 \times 10^{-17}$	2,26	3,59	5,68	14,28
$[Cu(CN)_2]^2$	$1 \times 10^{-22}$	0,215	0,340	0,54	1,324
$[Fe(CN)_6]$ 3	$1 \times 10^{-36}$	0,061	0,085	0,117	0,227
$[Cd(CN)_4]$ 2	$1,4 \times 10^{-17}$	2,3	3,64	5,77	14,49

Fuente: Propia

De la tabla se observa (de acuerdo con la constante de formación) que los complejos de hierro son aproximadamente 10 a 15 veces más estables que los complejos de cobre y plata.

La constante de formación para complejos de cianuro muestra que el cianuro de hierro como ferrocianuro o ferricianuro es difícil de destruir, además de ello la formación de complejo puede grandemente afectar la toxicidad del compuesto resultante. Por ejemplo, ferrocianuro es menos toxico que el cianuro de cobre, el cuales menos toxico que el cianuro de sodio

## **2.3 Proceso de Tratamiento de Aguas de Lavado para recuperación de metales**

### **2.3.1 Electrólisis**

La electrólisis consiste en generar procesos de reducción en el cátodo y de oxidación en el ánodo, provocados por el paso de corriente eléctrica a través de una celda electrolítica. Estos procesos electrolíticos se aprovechan para recuperar metales y/o eliminar contaminantes de los vertidos. Las celdas electrolíticas más habituales consisten en series de parejas de electrodos ánodo/cátodo en posición vertical, con agitación por aire y un filtro previo para la eliminación de partículas.

El material de los electrodos puede ser de muy distinta naturaleza, siendo los más habituales los siguientes.

Ánodos: Malla de Titanio recubierta de Platino o con óxidos de Iridio o Rutenio. Acero inoxidable

Cátodos: Acero inoxidable

Las aplicaciones más importantes se corresponden con los dos procesos que tienen lugar en los electrodos.

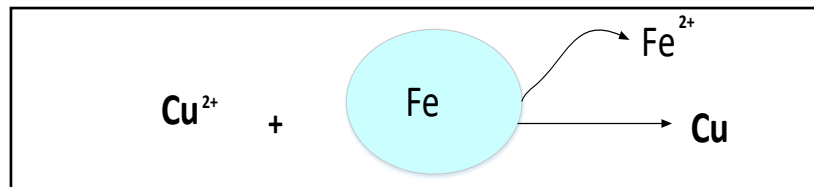
Recuperación de metales, Regeneración de baños decapantes, Oxidación de cianuros. Los procesos de deposición catódica se emplean para la recuperación electrolítica, entre otros, de metales preciosos (oro, plata), aunque también es aplicable para otros metales como el cobre, seguido por el níquel. El proceso debe realizarse en una cuba aparte, anexa a la instalación. Básicamente, la técnica consiste en montar una cuba donde realizar un proceso de oxidación-reducción con la ayuda de corriente eléctrica; el metal se reduce en el cátodo, mientras que

la materia orgánica (u otros componentes como los cianuros) presentes en el baño se oxidan en el ánodo.

### 2.3.2 Cementación

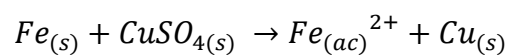
La cementación es un proceso heterogéneo en el cual los iones de cobre en la solución de sal de cobre (generalmente,  $\text{CuSO}_4$ ), se reduce a valencia cero en la interfaz de hierro mediante reducción electroquímica en forma espontánea para alcanzar el estado metálico de cobre, con la consecuente oxidación del hierro y las especies de hierro disuelto se presentan en la solución acuosa como se ilustra en la figura N° 2.6

FIGURA N°2.6  
REPRESENTACIÓN DE FORMACIÓN DEL COBRE



Fuente: propia

El proceso de cementación se considera el más económico y efectivo eliminar metales valiosos y / o tóxicos de las aguas residuales industriales [17] las reacciones de oxidación y reducción se presentan a continuación



### **2.3.3 Intercambio Iónico**

La unidad catiónica contiene un tipo específico de resina para remover los iones cargados desde la solución. Los cationes son reemplazados por iones hidrógeno que son desplazados desde la resina. Luego de un tiempo, la capacidad de la resina decrece, debiendo ser regenerada. La unidad de intercambio aniónico contiene una resina que remueve los iones cargados negativamente, tales como cromatos y cianuro. Estos se reemplazan con iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>) que se desplazan desde la resina, debiendo ser regenerada con una base fuerte como el hidróxido de sodio. La tecnología de intercambio iónico es adecuada para el tratamiento o recuperación de materiales a partir de soluciones muy diluidas. Esta tecnología es utilizada para purificar las aguas drenadas de los procesos de lavado, pudiendo posteriormente, reciclarse las aguas purificadas. Este sistema es adecuado para los enjuagues de ácidos de cromo y se usa para recuperar varios metales: Ni, Cu, Ag en forma de soluciones concentradas para devolverlas al proceso.

## **2.4 PROCESOS DE TRATAMIENTO DE CIANURO DE LAS AGUAS RESIDUALES GALVANICAS.**

Los cianuros son descargados por varias industrias, particularmente en procesos metalúrgicos (extracción de oro y plata) y chapado y acabado superficial (Akcil, 2010; Mudder et al., 2001; Mudder y Botz, 2004; EPA, 2000). Ellos son considerados entre los más compuestos peligrosos para el medio ambiente y su toxicidad es principalmente debido a su aptitud para liberar cianuros libres. Para esto razón, los procesos de tratamiento de aguas residuales de cianuro son usualmente relacionado con cianuros libres y cianuros de complejos metálicos no estables. Muchos oxidantes están disponibles para la

destrucción del cianuro como gas cloro, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, ozono y peróxido de hidrogeno.

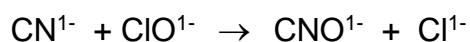
El proceso de oxidación de cianuros depende del grado de disociación de este, puesto que en la reacción se elimina exclusivamente el cianuro libre.

Complejos muy estables de cianuro, como los ferrocianuros, níquel y plata, son difícilmente oxidables. Complejos con tendencia a disociar como aquellos del zinc, cobre o cadmio son eliminables con mayor facilidad. El cobre cianurado es de una estabilidad media, por lo que, si no se dan los tiempos de reacción adecuados, pueden precipitarse o verter al cauce en forma de complejos.

A continuación, se presentan los procesos de tratamiento de efluentes con cianuro:

#### **2.4.1 Oxidación mediante hipoclorito de sodio**

Es el tratamiento más ampliamente utilizado y consiste en emplear hipoclorito de sodio, con el fin de oxidar el cianuro a cianatos y posteriormente a dióxido de carbono y nitrógeno. La destrucción se realiza según la secuencia de reacciones.



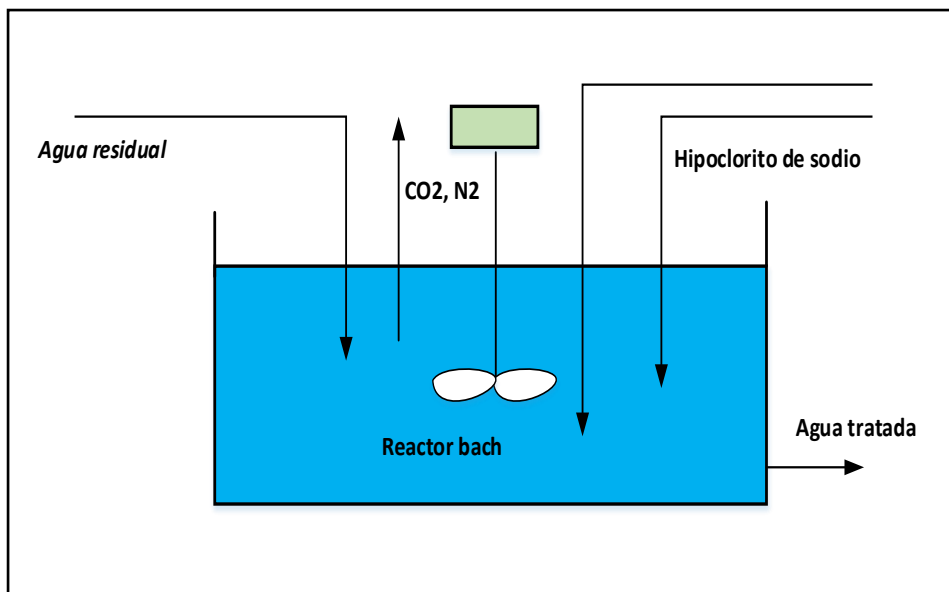
Para asegurar que ocurra la reacción se debe operar a pH controlado de 10 a superior. En condiciones ácidas se podría formar el gas cianuro de hidrogeno (HCN), que al ser respirado por seres humanos es letal. Se describe a continuación el proceso de tratamiento.

- Llenado de la cuba de reacción con solución procedente de almacenamiento de aguas cianuradas.
- Dosificación de soda (NaOH) para incrementar el valor del Ph .
- Dosificación de hipoclorito sódico (NaOCl )



- Reacción durante una hora y determinación in situ de la concentración de cianuro.

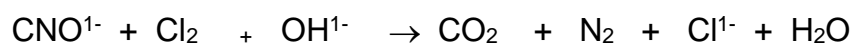
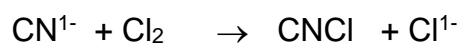
FIGURA N° 2.7  
DIAGRAMA DE OXIDACION MEDIANTE HIPOCLORITO DE SODIO



Fuente: Propia

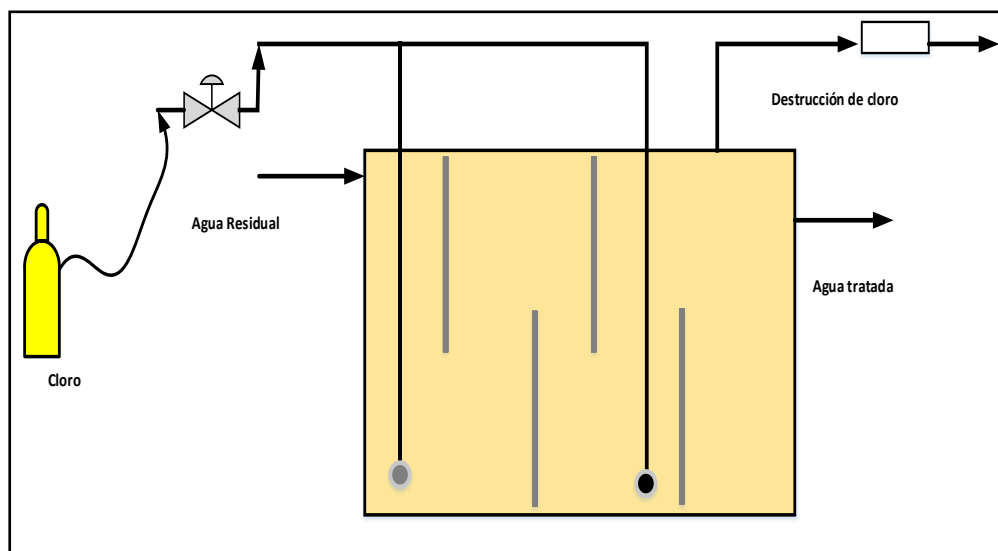
#### 2.4.2 Proceso de oxidación química con cloro gaseoso

La clorinación alcalina es un proceso químico que consiste en la oxidación y destrucción del cianuro libre y los complejos de cianuro bajo condiciones alcalinas. Consiste en la adición directa de gas cloro a las aguas residuales de elevado pH. Las reacciones que se producen son las siguientes en donde se observa en última instancia el desprendimiento dióxido de carbono y nitrógeno.



La destrucción de los complejos de cianuro que contienen cobre, cadmio, plata, cinc y sodio es fácilmente destruida con clorinación alcalina, compuestos cianurados que contienen hierro, oro y níquel requieren otras técnicas de tratamiento. La destrucción de complejos de níquel requiere mucha más dosificación de cloro y mayor tiempo de reacción. Los complejos de cianuro de plata son destruibles con clorinación alcalina, sin embargo, debido a su constante de formación muy pequeña, ocasionando que la reacción sea muy lenta.

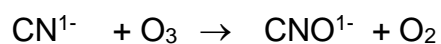
FIGURA N° 2.8  
DIAGRAMA DE LA OXIDACIÓN MEDIANTE EL CLORO



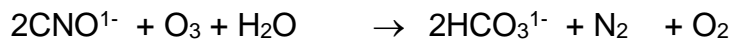
Fuente: Propia

### 2.4.3 Oxidación con ozono

En soluciones alcalinas el ozono es uno de los más poderosos agentes oxidantes conocidos. La oxidación de cianuro con ozono es una reacción de dos pasos similares a cloración alcalina. El cianuro es oxidado a cianato, y el ozono es reducido a oxígeno de acuerdo con la siguiente reacción.



Luego el cianato es hidrolizado, en presencia de ozono en exceso bicarbonato y nitrógeno y oxidado por la siguiente reacción.



La reacción es llevada a cabo en la gama de PH de 10 -12 donde la velocidad de reacción es relativamente constante. La temperatura no influencia la velocidad de reacción significativamente.

Los complejos de cianuro de sodio, cobre, cadmio y cinc y plata son fácilmente destruidos con ozono (5).

Los complejos cianurados de plata, oro, hierro no se obtienen resultados satisfactorios por presentar mayor estabilidad menos que un catalizador sea añadido.

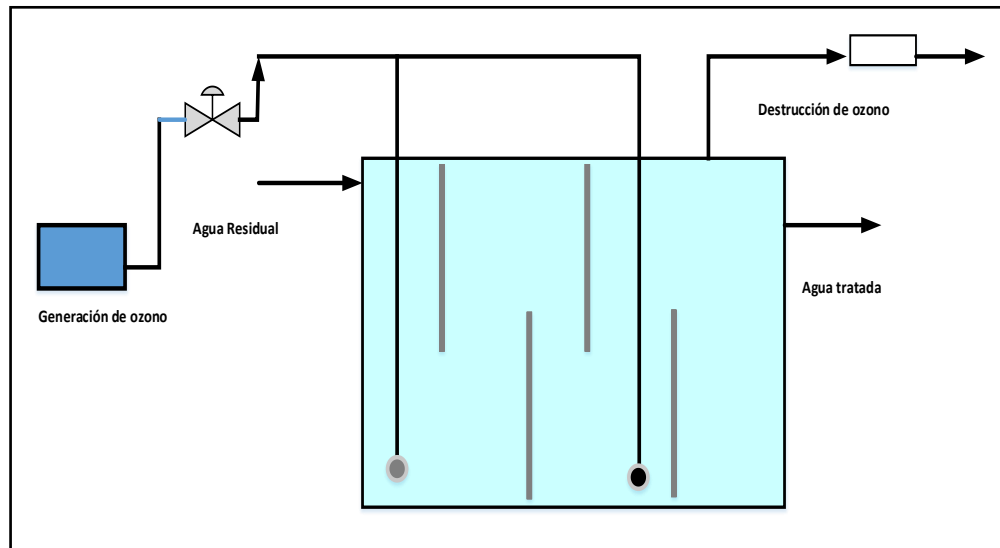
El tiempo de reacción para la oxidación completa de cianuro es de 10 a 30 min. Aproximadamente. La reacción de la segunda etapa es más lenta que la reacción de la primera etapa.

Las principales ventajas del ozono son:

- Descomposición muy rápida y completa de cianuros a cianatos y tiocianatos
- No hay producción de productos químicos tóxicos residuales
- Bajo mantenimiento y requisitos de mano de obra y operación simple.

En la figura N° el agua residual fluye a través de la cámara de reacción, donde el gas de alimentación de ozono es suministrado mediante un difusor, la corriente de alimentación con contenido de cianuro ingresa al tanque de reacción que contiene promotores de turbulencia, las reacciones que se presentan. El cianuro reacciona directamente con el ozono para producir cianato. En exceso de ozono, el cianato se convertirá en bicarbonato iones y gas nitrógeno a través de la reacción detallada.

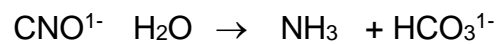
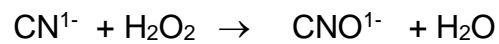
FIGURA N° 2.9  
 DIAGRAMA DE LA OXIDACIÓN MEDIANTE OZONO



Fuente: Propia

#### 2.4.4 Oxidación con peróxido de hidrogeno

El peróxido de hidrogeno proporciona otra alternativa para tratar aguas residuales que contiene cianuro. Siendo 8,5 – 10 es el intervalo de PH óptimo de la reacción (5). El cianuro es oxidado a cianato y el peróxido de hidrógeno es reducido a agua mediante las siguientes ecuaciones.

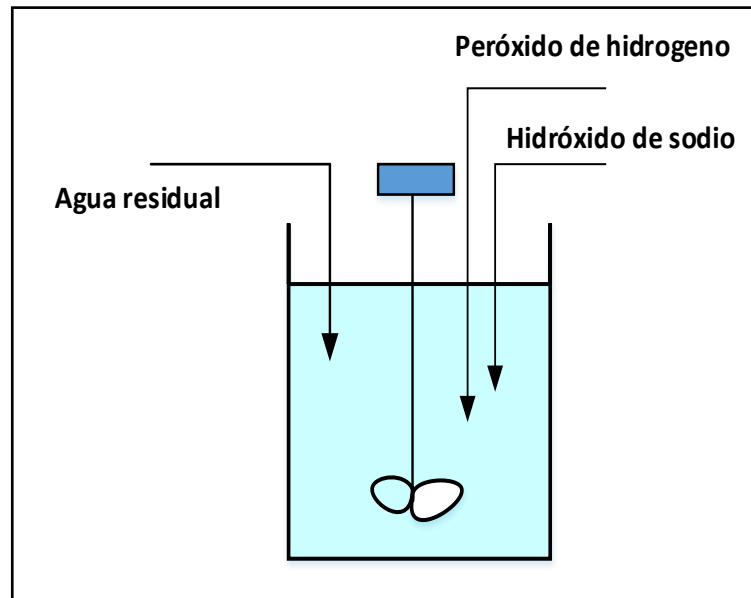


La velocidad de oxidación de cianuro depende de la concentración de peróxido de hidrogeno, concentración de cianuro y temperatura. La velocidad de reacción también se incrementa con la presencia de algunos metales que actúan como catalizadores, como el cobre.

El cianato no es más oxidado a dióxido de carbono y nitrógeno, pero es en cambio hidrolizado para formar iones amonio. Esta

reaccione es muy lenta conforme se incrementa el PH y se incrementa a medida que el Ph disminuye.

FIGURA N° 2.10  
DIAGRAMA DE OXIDACIÓN MEDIANTE PERÓXIDO



Fuente: Propia

#### 2.4.5 Oxidación Electroquímica

El proceso de cloración electroquímica fue desarrollado para evitar el uso de una fuente externa de gas cloro. La celda electroquímica usada en este proceso genera el gas cloro insitu. El cloruro de sodio es añadido a la solución de cianuro 1- 3% como la fuente de cloro.

El gas cloro generado electroquímica mente in situ (6) oxida anodinamente la especie de cianuro para formar (MCNO donde M es un metal tal como cobre, oro, cinc u otros). La producción continua de hidróxido de sodio mantiene el PH elevado y proviene la formación de gas cloruro de cianógeno (CNCl). El gas cloro

oxida más el MCNO a dióxido de carbono y nitrógeno de acuerdo con las siguientes reacciones

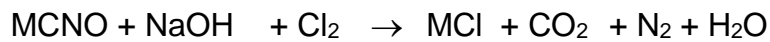
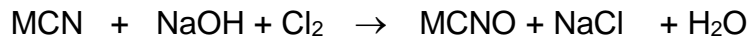
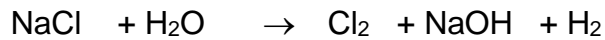
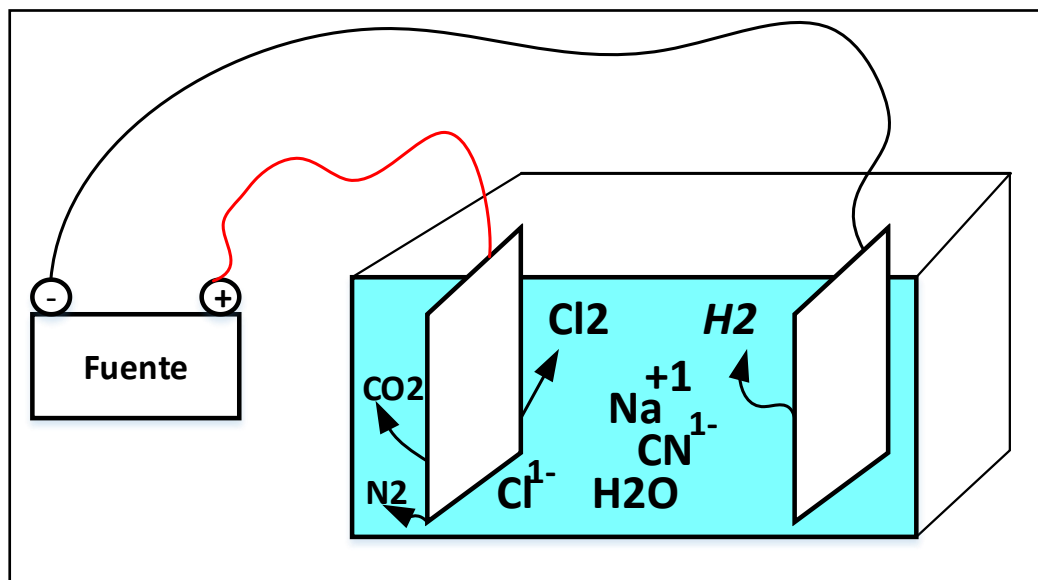


FIGURA N° 2.11

DIAGRAMA DE OXIDACIÓN MEDIANTE CLORO PRODUCIDO IN SITU



Fuente: Propia

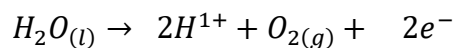
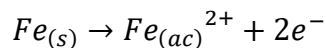
#### 2.4.6 Electrocoagulación (PEC)

Uno de los procesos recientemente considerados para el tratamiento de aguas residuales es el proceso de electrocoagulación (PEC). En esta técnica, el metal precipita tales como hidróxidos, poli hidróxidos o oxihidróxidos se generan in situ [7,8] a través de la oxidación electroquímica de diferentes ánodos de sacrificios tales como hierro o aluminio, superando así el requisito de coagulantes externos [9]. Esta característica única ha hecho que ECP sea simple, técnica confiable y rentable sin tener

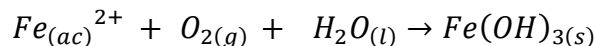
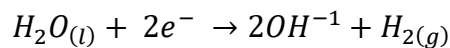
que agregar productos químicos [10] para eliminar los contaminantes del agua y las aguas residuales. Por lo tanto, en comparación con la coagulación química convencional, la principal Las ventajas de PEC incluyen.

1. menor cantidad de iones coagulantes requerido
2. mayor tasa de eliminación de contaminantes
3. no es necesario agregar productos químicos, evitando así la contaminación secundaria y la reducción de cantidad de lodo generado que necesita eliminación
4. tiempo de reacción bajo y, por lo tanto, tamaño pequeño del reactor
5. operación simple y mantenimiento [9,11-14]. Por otra parte, el gas de hidrógeno generado en el cátodo provoca la mezcla de la suspensión en el reactor, mejorando así floculación y, por lo tanto, rendimiento general [15]. Estas características hacen que PEC técnica y económicamente más eficiente que convencional coagulación.

Reacción en el ánodo



Reacción catódica



*Remocion de cianuro*

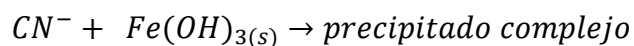
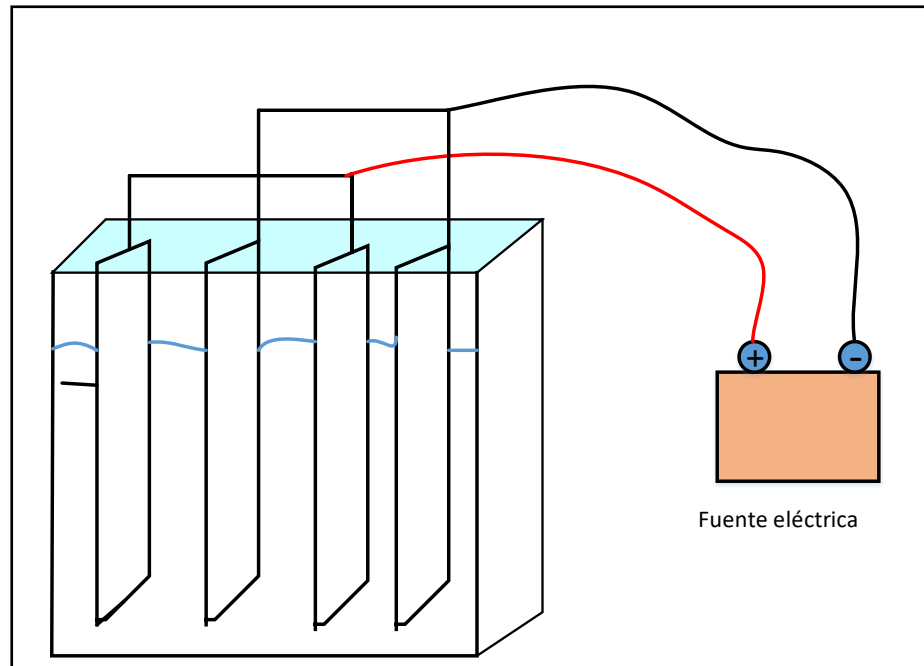


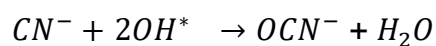
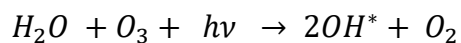
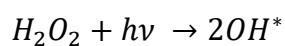
FIGURA N°2.12  
 DIAGRAMA DE ELECTROCOAGULACIÓN



Fuente: Propia

### 2.4.7 Proceso de Oxidación Avanzada (AOP)

Es un proceso combinado que utiliza peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ), ozono ( $O_3$ ) catalizado mediante radiación ultravioleta (UV). se representa mediante  $UV/H_2O_2/O_3$ . Los AOP se definen (26) como procesos de tratamiento de agua residual a temperatura ambiente, presentan un oxidante altamente reactivo, radical hidroxilo ( $OH^*$ ) es el principal agente responsable para la oxidación de numerosos contaminantes. El  $OH^*$  debe producirse continuamente in situ. las reacciones que se presentan en este proceso de oxidación





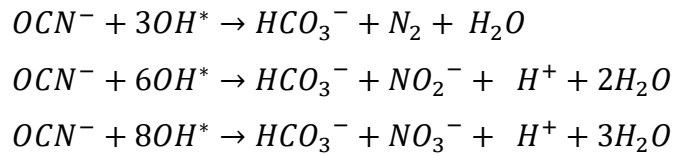
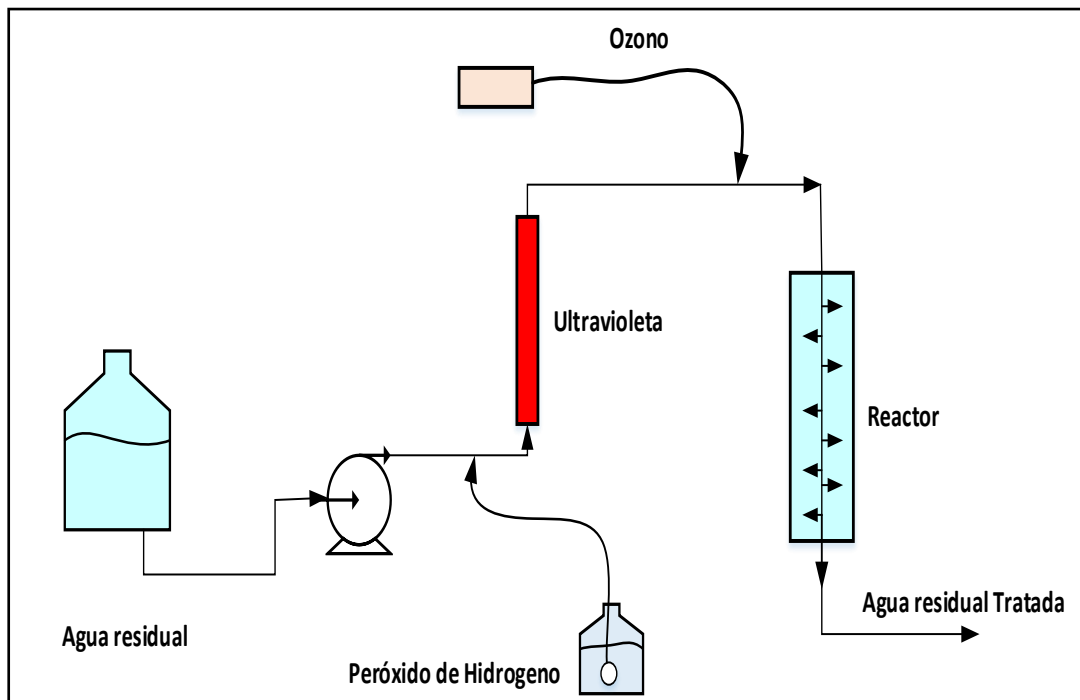


FIGURA N° 2.13  
DIAGRAMA DE OXIDACIÓN MEDIANTE OXIDACIÓN AVANZADA

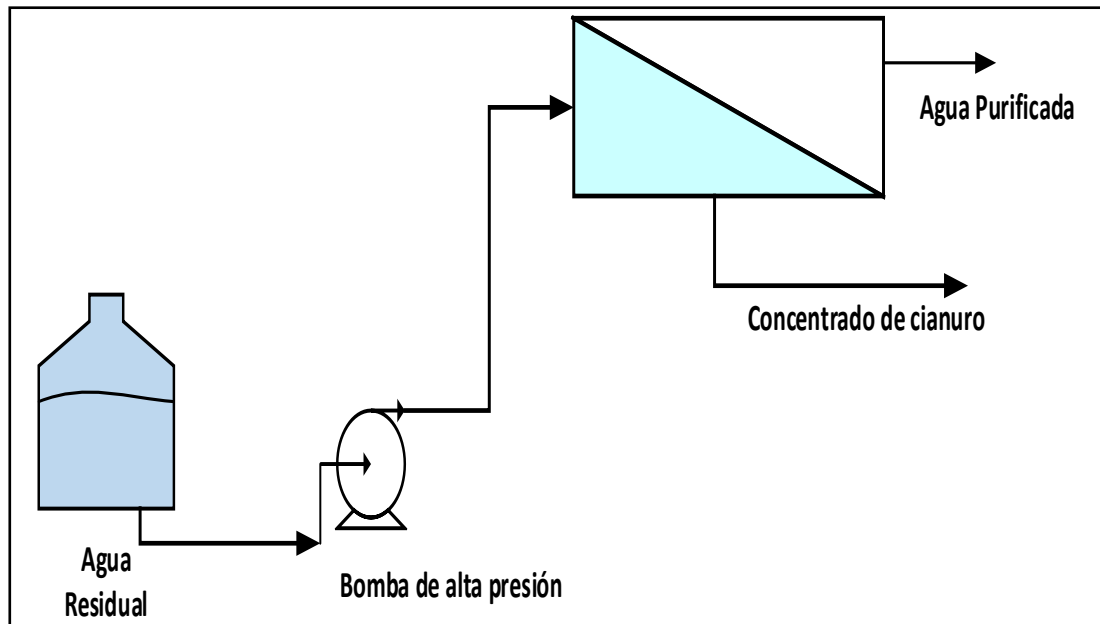


Fuente: Propia

#### 2.4.8 Tratamiento por ósmosis inversa

En los procesos de ósmosis inversa, la presión se aplica a una solución de cianuro, el agua es forzada, bajo presión, a atravesar una membrana por donde los iones no pueden difundir. Los procesos de membrana tienen la ventaja de que, por lo general, no requieren de la adición de productos químicos, se pueden realizar a temperatura ambiente.

FIGURA N° 2.14  
DIAGRAMA DE OSMOSIS INVERSA

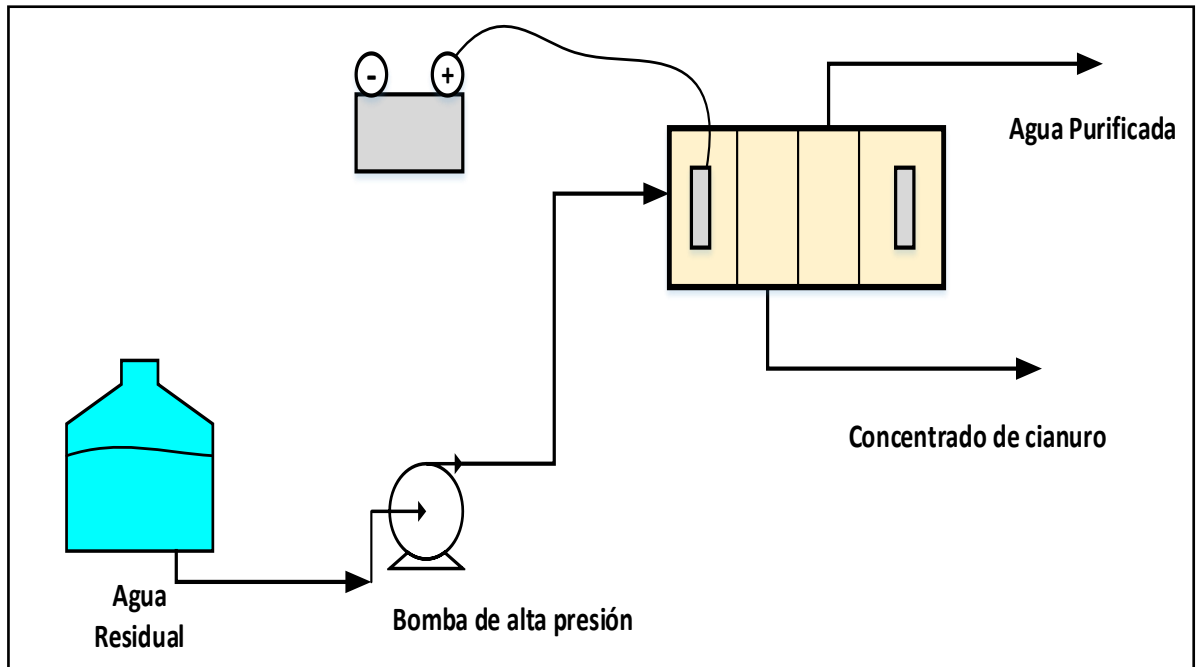


Fuente: Propia

#### 2.4.9 Electrodialisis.

Utilizan un conjunto de membranas de intercambio catiónico y aniónica las cuales se colocan en los extremos de los electrodos sobre los que se aplica una diferencia de potencial. De esta forma, los cationes migran hacia el cátodo y los aniones hacia el ánodo. De esta forma, se obtiene agua purificada y otra corriente de solución concentrada de cianuro que puede retornar al proceso.

FIGURA N°2.15  
DIAGRAMA DE ELECTRODIÁLISIS



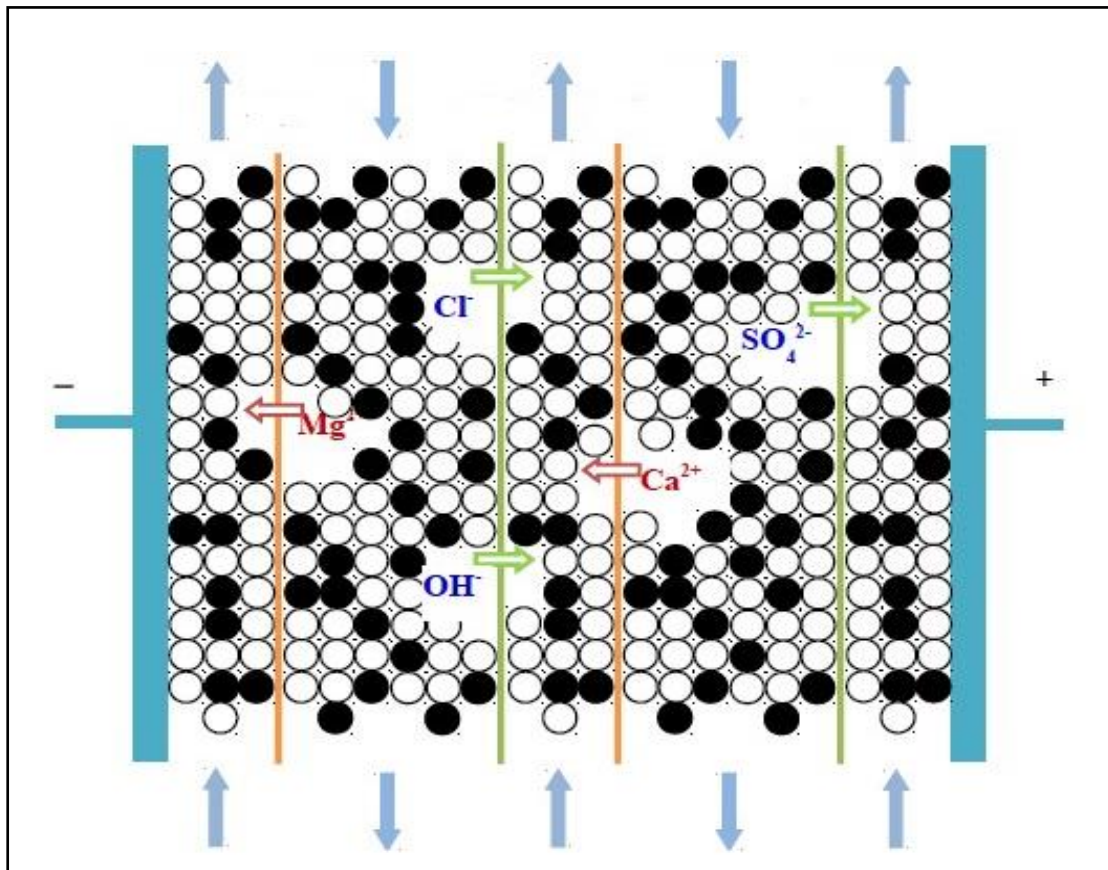
Fuente: Propia

## 2.5 Electroionización

Electroionización (EDI) es un proceso de electro membrana combinando ED y procesos de intercambio iónico y ha sido utilizado para producir agua ultra pura ampliamente. Membranas CM y AM son colocados entre los electrodos como en un módulo ED. Las resinas de intercambio se empaquetan entre CM y AM en una cámara diluida para mejorar la eliminación de iones bajo la fuerza impulsora de corriente continua (Fig. 2). La reacción de disociación de agua durante EDI produce hidrógeno e iones de hidroxilo. Estos iones continuamente regeneran las resinas de intercambio iónico electroquímicamente sin usar productos químicos. La

electrodesionización (EDI) es un proceso típicamente estudiado para la eliminación de iones bajos concentraciones de la solución.

FIGURA N°2.16  
DIAGRAMA DE ELECTROIONIZACIÓN



Fuente: Propia

### 2.5.1 Elementos de la Celda de Electro ionización

#### a. Electrodo

Los electrodos están formados por dos placas rectangulares de diferente material metálico, según corresponda al ánodo o al cátodo, a las cuales se les soldarán en su centro geométrico

dos cilindros para conectar los bornes de la fuente de alimentación.

Una alta conductividad del electrodo facilitará una distribución uniforme de corriente y potencial en el electrodo, y contribuirá a disminuir el consumo específico de energía del proceso.

Las propiedades fisicoquímicas del material electrónico deben ser resistentes a la corrosión, formación de óxidos aislantes en los ánodos, y a la deposición de películas orgánicas no conductoras. La disolución del metal se evita mediante la selección de un material resistente como el Platino, Platino recubierto sobre Titanio.

### **Cátodo**

Las reacciones en el cátodo son relativamente moderadas con el desprendimiento de gas hidrogeno.

Reduccion :  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^{1-} + \text{H}_2(\text{g})$   $E^0 = - 0,828 \text{ V}$

La disociación del agua incrementa sustancialmente el pH debido a los iones **OH<sup>1-</sup> producidos**.

Se utiliza generalmente acero inoxidable 316.

### **Ánodo**

Los materiales de estos electrodos deben soportar las condiciones agresivas de sustancias oxidantes.

Oxidacion :  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{e}^- + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}^{1+}$   $E^0 = - 1,230 \text{ V}$

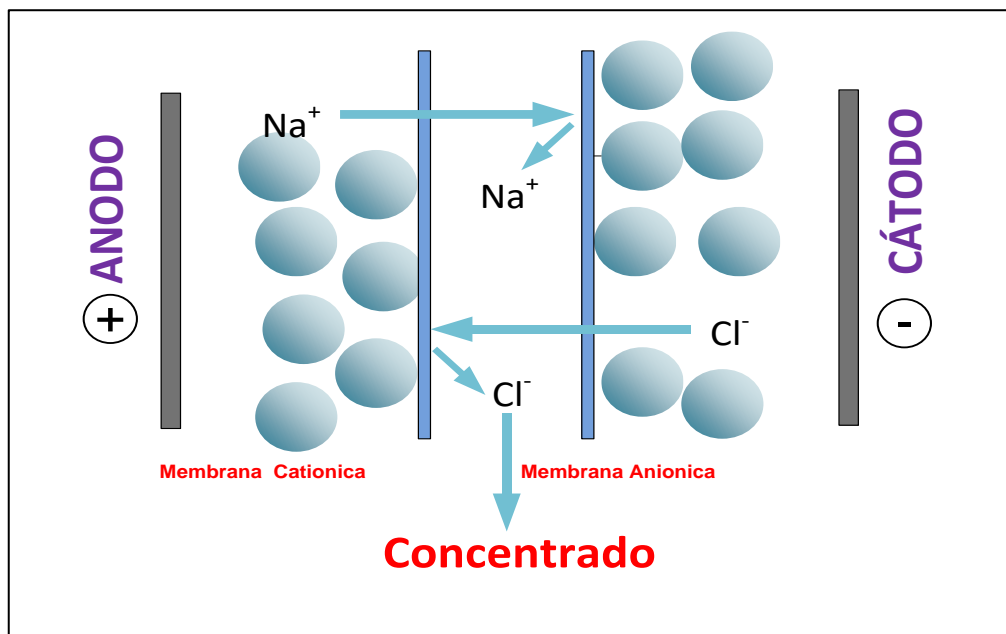
Si están presente iones cloruro:  $2 \text{Cl}^{1-} \rightarrow 2\text{e}^- + \text{Cl}_2(\text{g})$

## **b. Celda de Concentrado**

Bajo los efectos de una corriente eléctrica los aniones y cationes pasan por las membranas y forman una solución electrolítica concentrada. En este compartimiento se presenta

ciertos inconvenientes como el aumento progresivo de iones calcio, carbonato y sulfato que no deben pasar ciertos límites pueden precipitar en las membranas de intercambio iónico aumentando su resistencia eléctrica y disminuyendo su selectividad.

FIGURA N° 2.17  
MIGRACION DE IONES EN CELDA DE CONCENTRADO

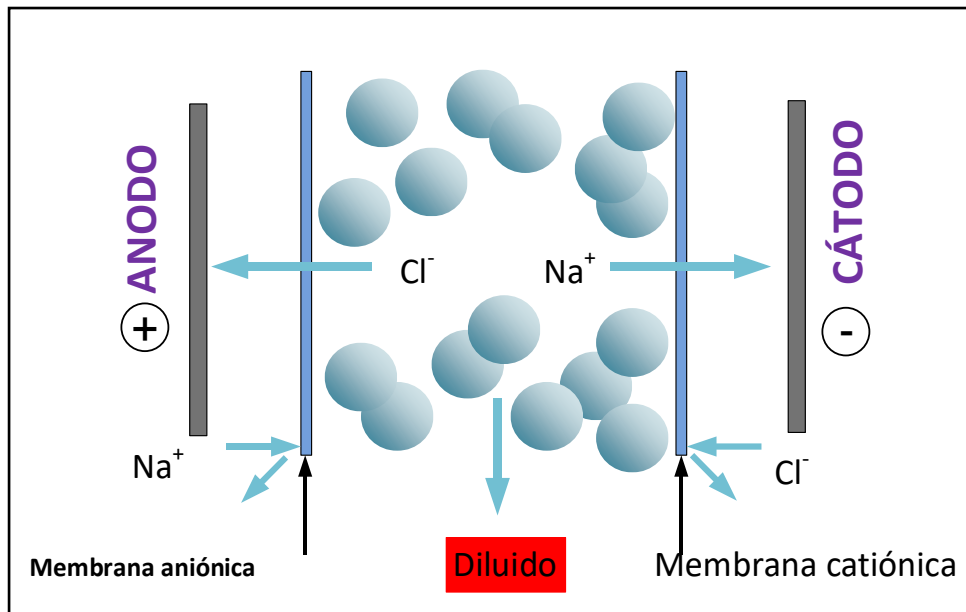


Fuente: Propia

### c. Celda diluida

Es el producto obtenido, el tiempo de recirculación depende del nivel de desmineralización requerido.

FIGURA N° 2.18  
MIGRACIONES DE IONES A LA CELDA DE CIANURO

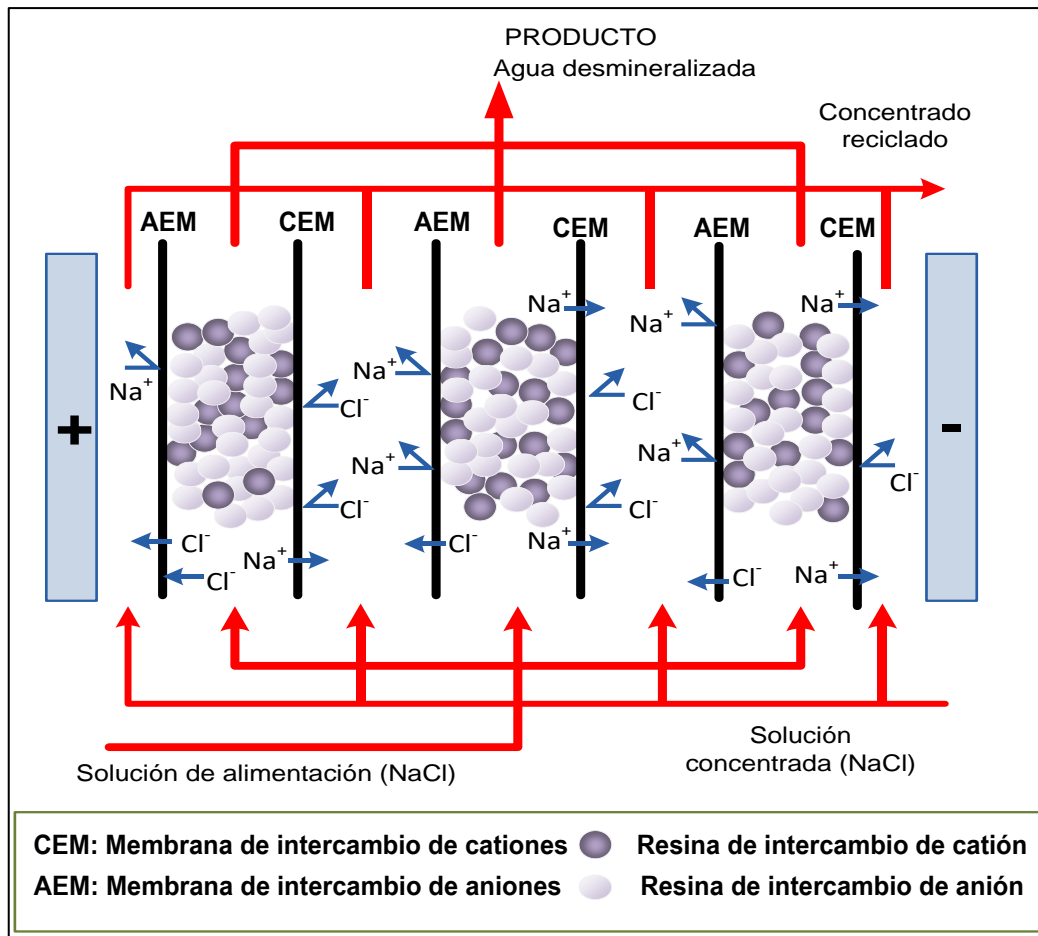


Fuente: Propia

### 2.5.2 Proceso de transporte de iones en proceso de electroionización

Cuando una diferencia de potencial es aplicada entre ambos electrodos, los cationes se mueven hacia el cátodo y los aniones hacia el ánodo. Los cationes migran a través de las membranas de intercambio de cationes, y son retenidos por las membranas de intercambio de aniones. De otro lado, los aniones migran a través de las membranas de intercambio de aniones, y son retenidos por las membranas de intercambio de intercambio de cationes. Este movimiento produce una elevación en la concentración de iones en algunos compartimientos (compartimiento de concentrado) y la disminución en los adyacentes (compartimiento diluido) como se muestra en la figura.

FIGURA N° 2.19  
DIAGRAMA DE ELECTRODESIONIZACIÓN



Fuente: Propia

### 2.5.3 Ventajas de los procesos de electro ionización

- No requiere productos químicos para su regeneración
- Es amigable con el medio ambiente
- Evita el manejo de residuos
- No requiere detención del equipo para la regeneración
- Los sistemas son compactos, de hecho, en el mercado actual son los más pequeños y livianos por unidad de agua producto.



- Producen continuamente calidad y cantidad de agua ultra pura
- Requieren muy baja cantidad de energía para operar.
- Requieren pequeños espacios para instalación
- Mínima supervisión del operador
- Costo de operación es principalmente el suministro de energía eléctrica

## **2.6 Sistema combinado de Ósmosis Inversa – Electroionización**

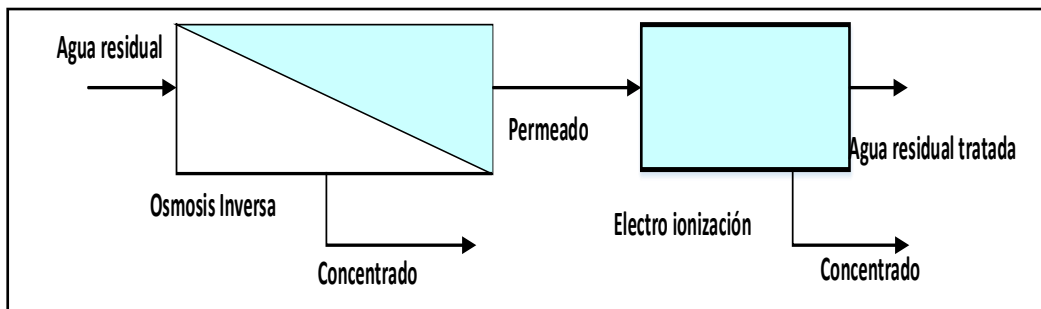
El sistema combinado de Ósmosis Inversa – Electro ionización consiste en producir agua en concentraciones de iones específicos cercanos o inferiores a los límites de detección. El agua procedente habitualmente de un sistema de Ósmosis Inversa debido a que se tiene que bajar las concentraciones iniciales de alimentación permitiendo que a la salida de Ósmosis Inversa se obtenga un producto que tenga concentraciones adecuadas esto es debido a que se requiere obtener un máximo provecho y duración de las membranas aniónicas y catiónicas del equipo de Electroioinzación.

Una vez que atraviesa el módulo de Electroionización donde debido al potencial eléctrico aplicado a los electrodos se provoca la migración de los iones, produciéndose la des ionización y desviándose así los iones al compartimiento del concentrado, el paso de los cationes y aniones está limitado por las membranas catiónicas y aniónicas.

De esta forma los iones del diluido o producto se concentran en las celdas del concentrado. Las concentraciones en el agua son bajas en la parte inferior del compartimiento del diluido del producto, por lo que el agua es ionizada en las zonas de alto voltaje y los protones e iones hidroxilo que se forman regeneran las resinas catiónicas y aniónicas,

respectivamente, haciendo que las resinas regeneradas *in situ* puedan continuar desionizado el agua.

FIGURA N° 2.20  
ESQUEMA DE SISTEMA COMBINADO DE OSMOSIS INVERSA-  
ELECTRODESIONIZACIÓN



Fuente: Propia

## 2.7 Marco Legal

### 2.7.1 Decreto Supremo 002-2008 MINAM

“Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua”

TABLA N°2.7  
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Parámetro	unidad	tratamiento convencional	tratamiento avanzado	destinadas para la recreación
Cianuro WAD	mg/L	0,08	0,08	0,08
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022

Fuente: MINAM

### 2.7.2 Decreto Supremo 003-2010 MINAM

Aprueba “Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales”.

### 2.7.3 Decreto Supremo 010-2010 MINAM

Aprueba “Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas”.

TABLA N° 2.8  
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Parámetro	unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio Anual
Cianuro total	mg/L	1,0	0,8

Fuente MINAM

### 2.7.4 Decreto supremo N° 021 -2009

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento – “Valores Máximos Admisibles de las descargas de Aguas Residuales no Domésticas”

TABLA N°2.9  
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Parámetro	unidad	Valores Máximos Admisibles
Cianuro total	mg/L	1,0

Fuente Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

## 2.8 Definición de Términos Básicos

**Ánodo:** Es un electrodo en el cual se produce la reacción de oxidación.

**Cátodo:** Se produce la reacción de reducción

**Diseño Factorial:** Investigación de todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo o experimento.

**Membrana Aniónica:** Permitirá sólo el paso de aniones, utilizando grupos de intercambio aniónico tales como el amonio cuaternario o amina terciaria.

**Membrana Catiónica:** Es una lámina que contiene una matriz porosa como poli estireno en la cual están fijos grupos electronegativos

**Resinas de intercambio iónico:** Poliméricos o minerales dentro de dispositivos llamados intercambiadores de iones.

**Cianuro:** anión monovalente de representación  $\text{CN}^-$  contiene el grupo cianuro ( $:\text{C}\equiv\text{N}:$ ), que consiste de un átomo de carbono con un enlace triple con un átomo de nitrógeno.

**Agua residual:** El término agua residual define un tipo de agua que pueden ser aguas residuales urbanas, aguas residuales industriales, aguas residuales de hospitales, etc.

**Cianuro Libre:** Es el término utilizado para al ión de cianuro ( $\text{CN}^-$ ).

**Compuestos Simples de Cianuro:** Sales del ácido cianhídrico ( $\text{KCN}$  y  $\text{NaCN}$ , etc.) los cuales se disuelven completamente en solución produciendo cationes libres y aniones cianuro

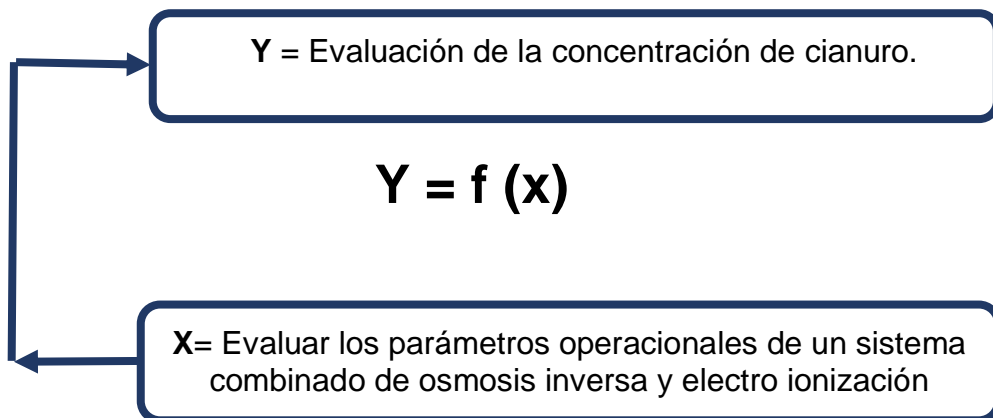
**Cianuro Total: (TCN):** El cianuro total incluye el cianuro libre, los cianuros simples y los todos los cianuros complejos

### CAPITULO III VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1. Variables de la investigación:

La presente investigación posee las siguientes variables, esquematizadas en la figura N°3.1

FIGURA 3.1  
DEFINICION DE VARIABLES



Fuente: propia

#### 3.2. Operacionalización de variables.

Se realizó la operacionalización de variables a través de dimensiones indicadores y métodos de ensayo a realizar. (Véase la Tabla N°3.1)

TABLA N°3.1.  
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	MÉTODO
Y= remoción de cianuro total.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Concentración de cianuro total</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ppm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Absorción Atómica</li> </ul>
VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	MÉTODO
X= parámetros de operación del módulo de electroionización	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Porcentaje de remoción de cianuro total.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Medición directa.</li> <li>● Espectroscopia de IR</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Potencial eléctrico</li> <li>● Flujo de la corriente diluida</li> <li>● Concentración inicial de cianuro total</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● voltaje</li> <li>● L/h</li> <li>● ppm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● medida directa</li> <li>● Medición directa.</li> <li>● Cronometro</li> <li>● laboratorio.</li> </ul>

Fuente: Propia

### **3.3. Hipótesis**

#### **3.3.1. Hipótesis general**

Existe una influencia significativa entre los parámetros de operación de un sistema combinado de osmosis inversa – electro ionización sobre la concentración de iones cianuro de aguas de lavado de la industria galvánica.

#### **3.3.2. Hipótesis específicas**

**H<sub>1</sub>:** Con los parámetros de operación, Concentración de iones cianuro, diferencia de potencial, flujo y pH. Alcanzaremos la concentración de iones cianuro que cumplan los límites permisibles.

**H<sub>2</sub>:** La concentración de iones cianuro en agua de lavado es necesario un sistema de tratamiento

**H<sub>3</sub>:** Mediante técnicas de análisis químicos es posible determinar la concentración de iones cianuro y comprobar calidad de las aguas de lavado de la industria galvánica (es decir que cumplan con los estándares de calidad).

#### **3.3.3. Variables e Indicadores**

$$Y = F(X)$$

##### **a. Variables Independientes (X)**

- Concentración de alimentación de iones cianuro (X<sub>1</sub>)
- Potencial eléctrico (X<sub>2</sub>)
- Flujo (X<sub>3</sub>)

**b. Variables Dependientes (y)**

Concentraciones de iones cianuro en agua de lavado de cobre básico. (Y).

**c. Indicadores**

Y= Valores de la concentración de iones cianuro (5ppm).

X= Parámetros de operación del módulo del sistema combinado Osmosis inversa.

TABLA N° 3.2  
INDICADORES

<b>Concentración (mg/L)</b>	X <sub>1</sub>	100	20
<b>Flujo (mL/min.)</b>	X <sub>2</sub>	500	800
<b>Voltaje(V)</b>	X <sub>3</sub>	10	25

Fuente: propia



## **CAPITULO IV METODOLOGÍA**

### **4.1. Tipo de investigación.**

La investigación realizada fue de tipo experimental, dado que se requiere de la observación, registro, análisis, y un manejo de variables controladas, asimismo fue de tipo cuantitativo debido a que se obtuvo el porcentaje de remoción de iones cianuro.

La finalidad de la tesis fue de tipo aplicada, dado que los resultados que se obtuvieron de la experimentación se podrán utilizar como base de información para la reducción de iones cianuro) a través de un equipo de electro ionización.

### **4.2. Diseño de la investigación.**

En la primera etapa de tratamiento del agua residual de la industria galvánica se ha utilizado el módulo de osmosis inversa, se ha efectuado un diseño de experimentos de 2 parámetros (flujo de permeado y conductibilidad de agua de alimentación) a dos niveles. En el segundo módulo de electroionización se ha utilizado el agua de permeado de la osmosis como alimentación al equipo de electroionización, se ha diseñado un experimento factorial de tres parámetros a dos niveles., tales como; potencial eléctrico, flujo y concentración inicial de la muestra (23) siendo un total de 8 experimentos (Véase la figura No 4.2), las soluciones se mandaron analizar al laboratorio ALAB (Analytical Laboratory).

#### 4.2.1. Diseño Experimental en el módulo de osmosis inversa

TABLA N°4.1  
MATRIZ DE EXPERIMENTOS

N°	X1	X2	X1 (us) Conductividad De alimentación	X2 (L/h) Flujo de permeado	Y(us) Conductividad permeado
1	-	-	500	80	
2	+	-	720	80	
3	-	+	500	120	
4	+	+	720	120	

Fuente: propia

#### 4.2.2. Diseño Experimental en el módulo de electroionización

TABLA N°4.2  
MATRIZ DE EXPERIMENTOS

N°	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y
1	-	-	-	10	300	8,37	
2	+	-	-	18	300	8,37	
3	-	+	-	10	500	8,37	
4	+	+	-	18	500	8,37	
5	-	-	+	10	300	23,45	
6	+	-	+	18	300	23,45	
7	-	+	+	10	500	23,45	
8	+	+	+	18	500	23,45	

Fuente: propia

### **4.3 Población y muestra**

#### **4.3.1 Población**

Las aguas de lavado provienen de la empresa Servicios de Recubrimientos Metálicos Baiser, ubicada en la Provincia Constitucional del Callao.

#### **4.3.2 Muestra**

Se utilizará 0,5 m<sup>3</sup> agua de lavado que proviene de los enjuagues del baño electrolítico de cobre alcalino.

### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **4.4.1 Equipo experimental**

El equipo experimental consiste un sistema combinado de osmosis inversa y electroionizacion.

El módulo de osmosis inversa tiene una capacidad de 800 GPD contiene los siguientes elementos, membrana de marca voltion, bomba de alta presión, pre-filtro de 20 un, dos flujos metros de capacidad de 1GPM cada uno, indicadores de presión y válvula de tipo aguja para controlar el flujo de permeado.

El módulo de electroionizacion tiene una capacidad de 500 L/h de corriente diluida, contiene una fuente generadora de energía continua de capacidad de 0 a 60 voltios, una bomba de alimentación de solución diluida de cianuro, tres flujos metros para cuantificar el flujo de la corriente diluida, concentrada y lavado de electrodos, indicador de la intensidad de corriente eléctrica y manómetros.

#### **4.4.2 Técnicas**

1. Se analizó la concentración (ppm) y conductividad(us) de la corriente diluida y concentrado cada 10 min. en el equipo de osmosis inversa y electroionización
2. Se tomaron muestras de la corriente de alimentación y permeado del equipo de electroionización, se analizó la concentración de cianuro a través del laboratorio CERPER.

#### **4.4.3 Instrumentos**

Se utilizarán equipos e instrumentos de medición como:

- Equipo experimental de osmosis inversa y electro ionización
- Fuente eléctrica para generar corriente continua
- Equipo de absorción atómica
- Multitéster para monitorear la corriente eléctrica
- Conductímetro para lecturas de conductividad.
- Cronómetro para medir el tiempo de recirculación las soluciones de alimentación en el equipo.

### **4.5 Procedimiento de Recolección de datos**

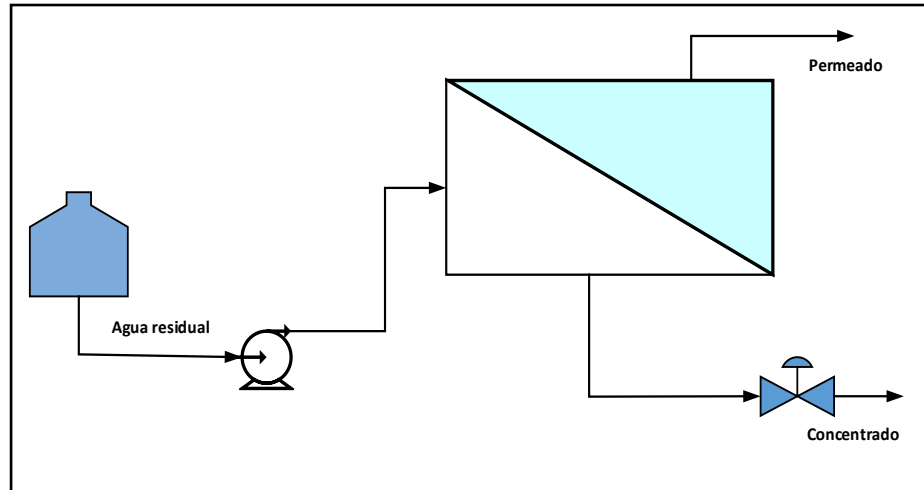
#### **4.5.1 Recolección de agua residual de la industria galvánica**

Se recolecto 500 litros de agua residual de lavado de pieza metálicas del proceso electrolítico de cobre alcalino que contiene reactivos de cianuro de cobre y cianuro de sodio. el agua de enjagüe presenta una concentración de 720 ppm.

#### 4.5.2 Proceso combinado de osmosis inversa y electroionización

FIGURA N° 4.1

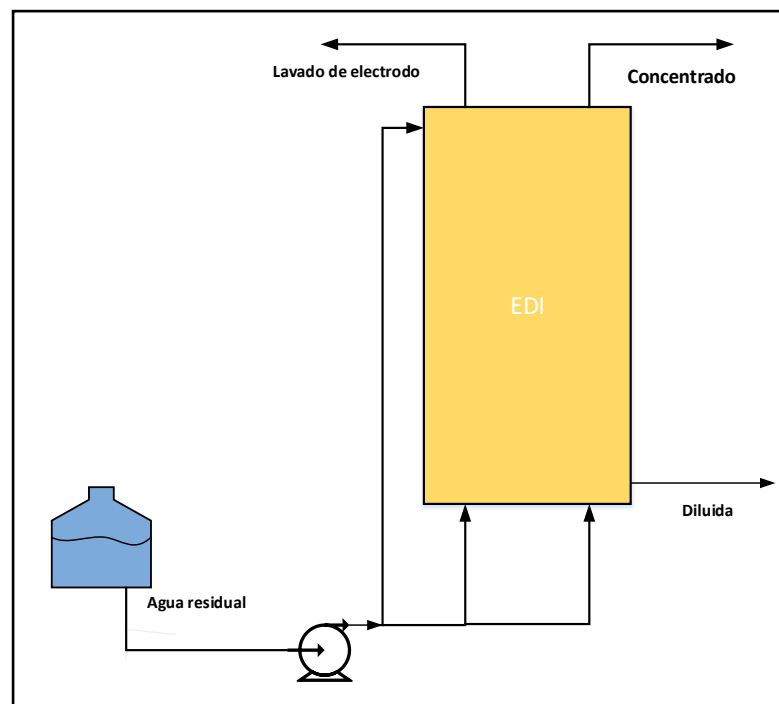
DIAGRAMA PROCESO DE OSMOSIS INVERSA



Fuente: Propia

FIGURA N° 4.2

DIAGRAMA PROCESO DE ELECTRO IONIZACIÓN



Fuente: Propia

## 4.6 Procesamiento Estadístico y Análisis de Datos

Por la naturaleza de la investigación el presente informe se ha priorizado métodos cuantitativos, la recolección de datos se da mediante la experimentación, los cuales serán analizados en forma directa y a través del uso de un software especializado como el Minitab, el cual es de gran ayuda para el análisis de datos, gráficos estadísticos, regresión, etc.

## 4.7 Ecuaciones Básicas

### a. Balance de Flujo volumétrico.

La operación del módulo de osmosis inversa y electroionización es continua, el flujo de entrada (alimentación) es igual a los flujos de salida (Permeado y Rechazo).

$$Q_F = Q_P + Q_R \quad (4.1)$$

Donde

$Q_P$	: flujo de permeado
$Q_F$	: flujo de alimentación
$Q_R$	: flujo de rechazo

### b. Porcentaje de recuperación de flujo.

Es la relación porcentual del flujo de permeado con respecto al flujo de alimentación. Es una relación que puede variarse a voluntad según las necesidades de producción.

$$\%R = \frac{Q_P}{Q_F} \times 100\% \quad (4.2)$$

c. **Porcentaje de Remoción (%R):**

Para determinar el porcentaje de remoción de cianuro mediante el equipo de electro ionización se e utilizara la ecuación 4.3:

$$\%R = \frac{[C_i] - [C_f]}{[C_i]} * 100\% \quad (4.3)$$

De donde:

- **%R** : Porcentaje de separación
- **C<sub>i</sub>** : concentración inicial (ppm) o conductividad (us)
- **C<sub>f</sub>** : concentración final (ppm) o conductividad

## CAPITULO V RESULTADOS

### 5.1 Conductibilidad de permeado en el módulo de osmosis inversa en función de los parámetros de operación

En la siguiente tabla se muestra los resultados de la conductibilidad de la corriente de permeado de acuerdo con el diseño de experimentos propuesto, como se indica en la tabla N° 5.1

TABLA N° 5.1  
CONDUCTIBILIDAD DE PERMEADO EQUIPO DE OSMOSIS (us)

N°	X1 (us) Conductividad De alimentación	X2 (L/h) Flujo de permeado	Y(us) Conductividad de permeado
1	500	80	42
2	720	80	43
3	500	120	42
4	720	120	44

Fuente: Propia

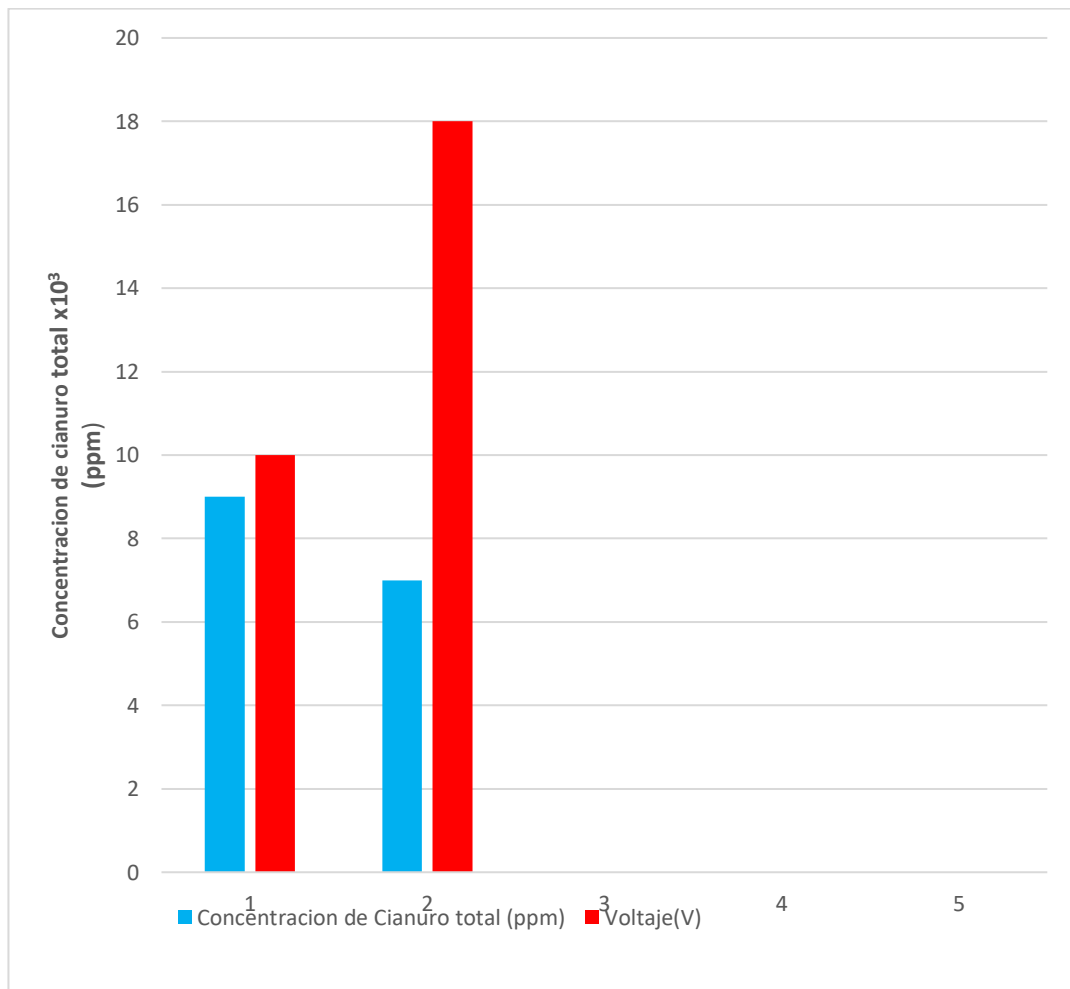


TABLA N° 5.2  
 CONCENTRACIÓN DE CIANURO TOTAL EN LA CORRIENTE DILUIDA  
 EQUIPO DE ELECTROIONIZACION

N°	X <sub>1</sub> Voltaje (V)	X <sub>2</sub> Flujo(L/h) Permeado	Ppm (CN <sup>-</sup> ) inicial	Y <sub>1</sub> (ppm)CN Cianuro total
1	10	300	8,37	0,009
2	18	300	8,37	0,007
3	10	500	8,37	0,009
4	18	500	8,37	0,008
5	10	300	23,45	0,009
6	18	300	23,45	0,008
7	10	500	23,45	0,0090
8	18	500	23,45	0,008

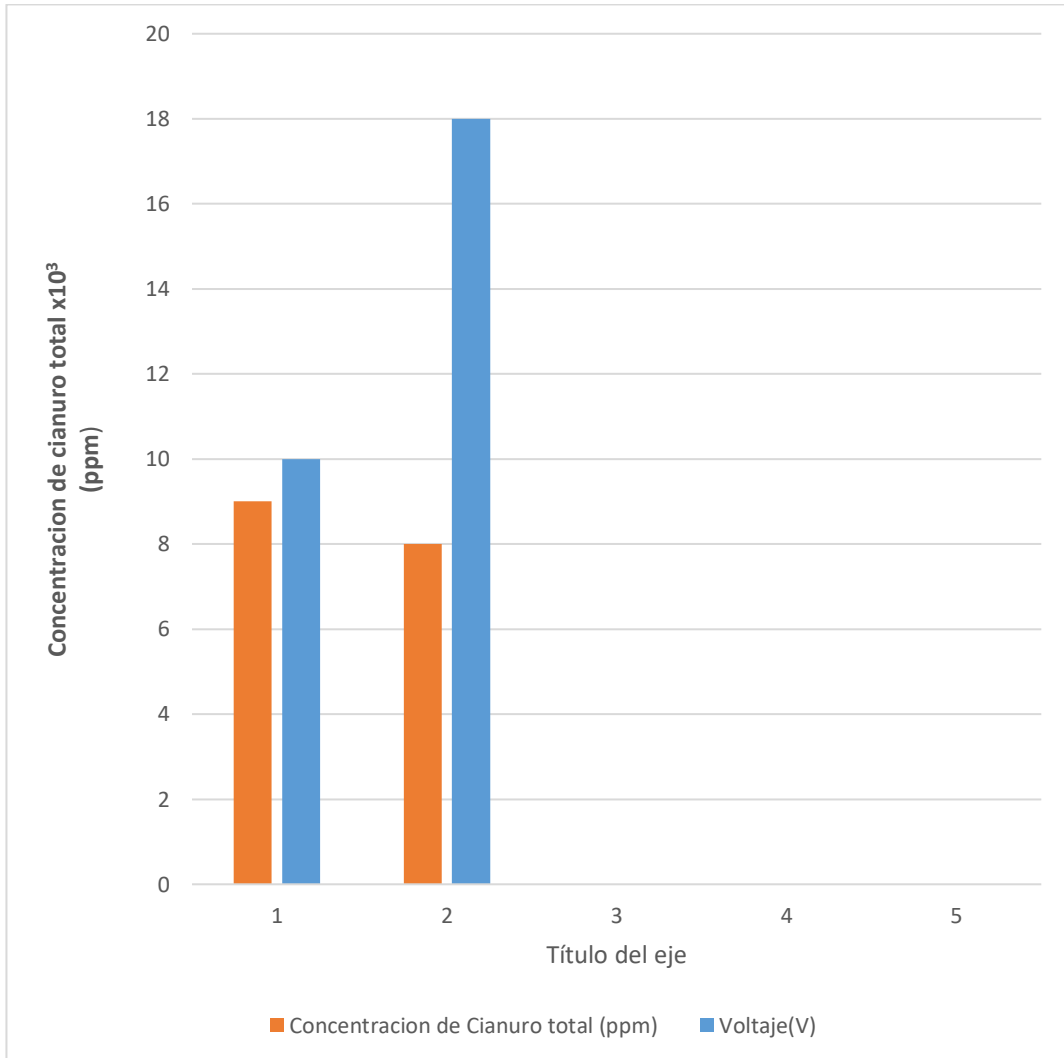
Fuente: propia

GRAFICO N° 5.1  
CONCENTRACIÓN DE CIANURO TOTAL VS VOLTAJE A LA  
CONCENTRACIÓN INICIAL DE 8,37 PPM Y FLUJO DE 300 L/H



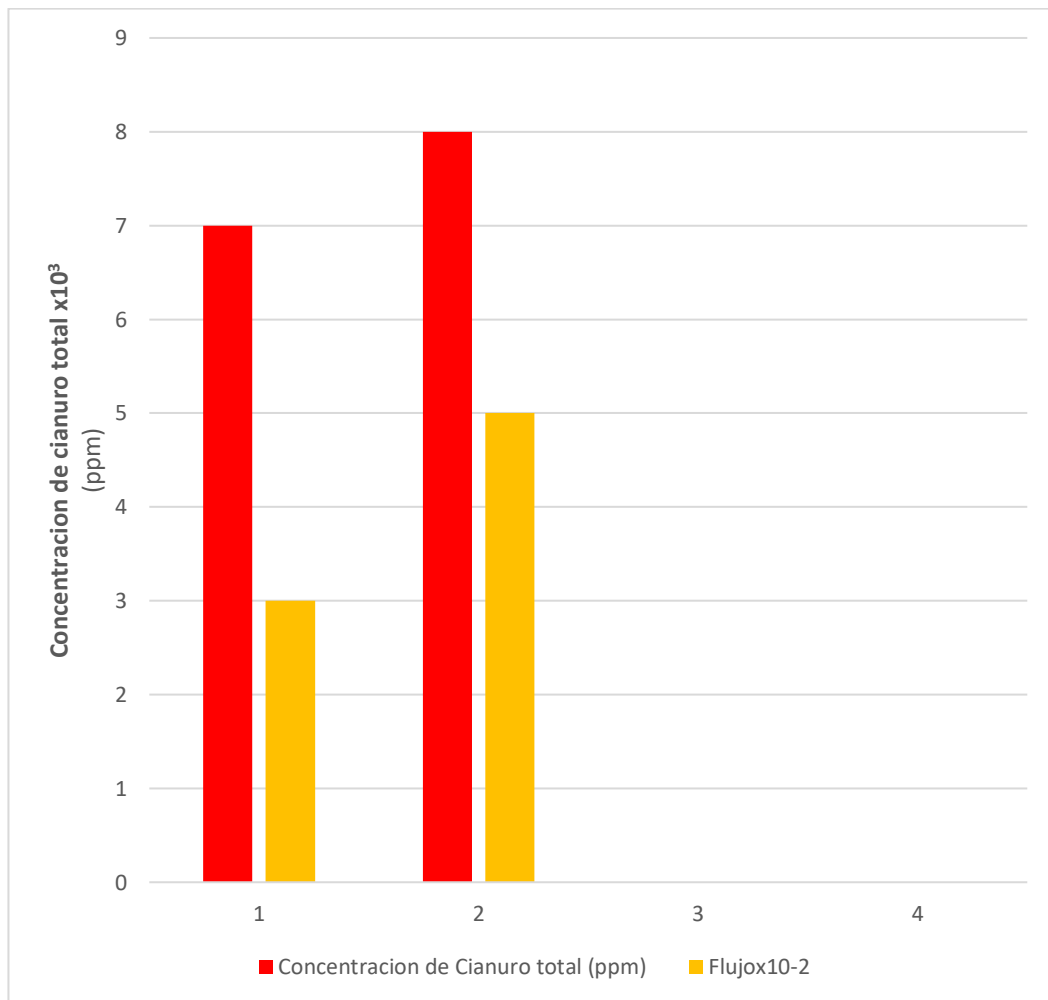
Fuente: Elaboración Propia

GRAFICO N° 5.2  
CONCENTRACIÓN DE CIANURO TOTAL VS VOLTAJE A LA  
CONCENTRACIÓN INICIAL DE 23,45 PPM Y FLUJO DE 300 L/H



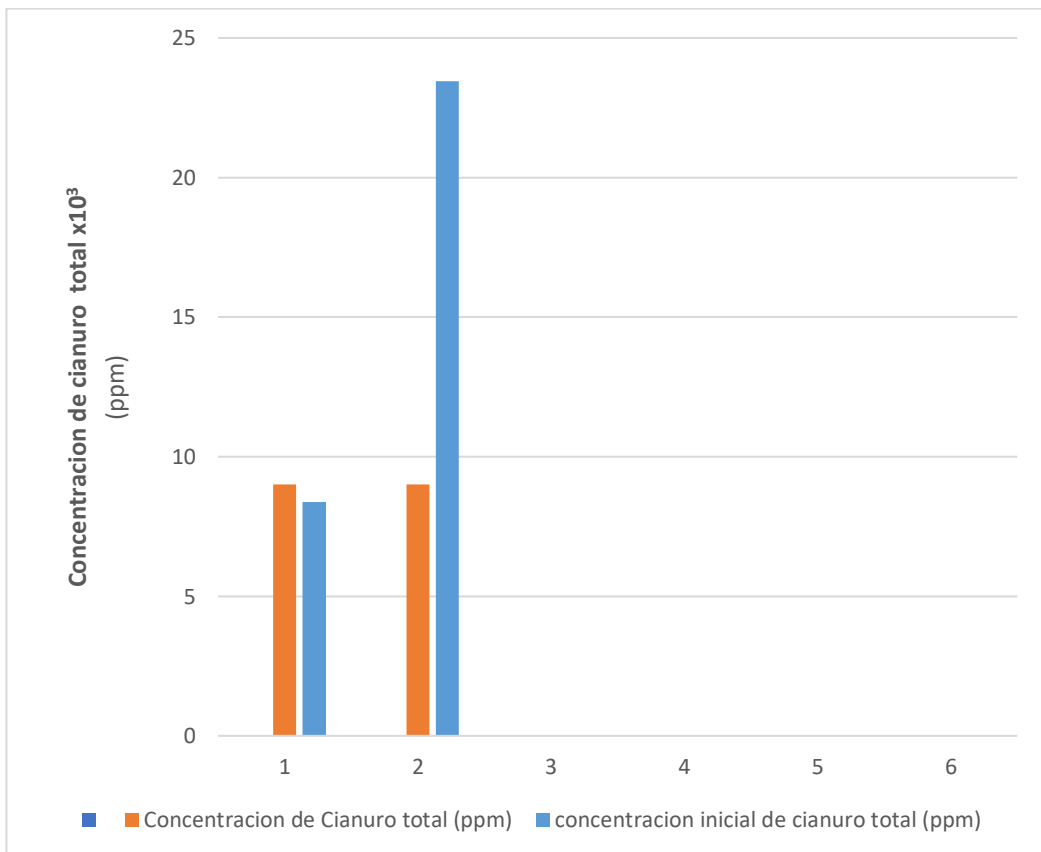
Fuente: Elaboración Propia

GRAFICO N° 5.3  
CONCENTRACIÓN DE CIANURO TOTAL VS FLUJO A LA  
CONCENTRACIÓN INICIAL DE 8,37 PPM VOLTAJE A 18 V



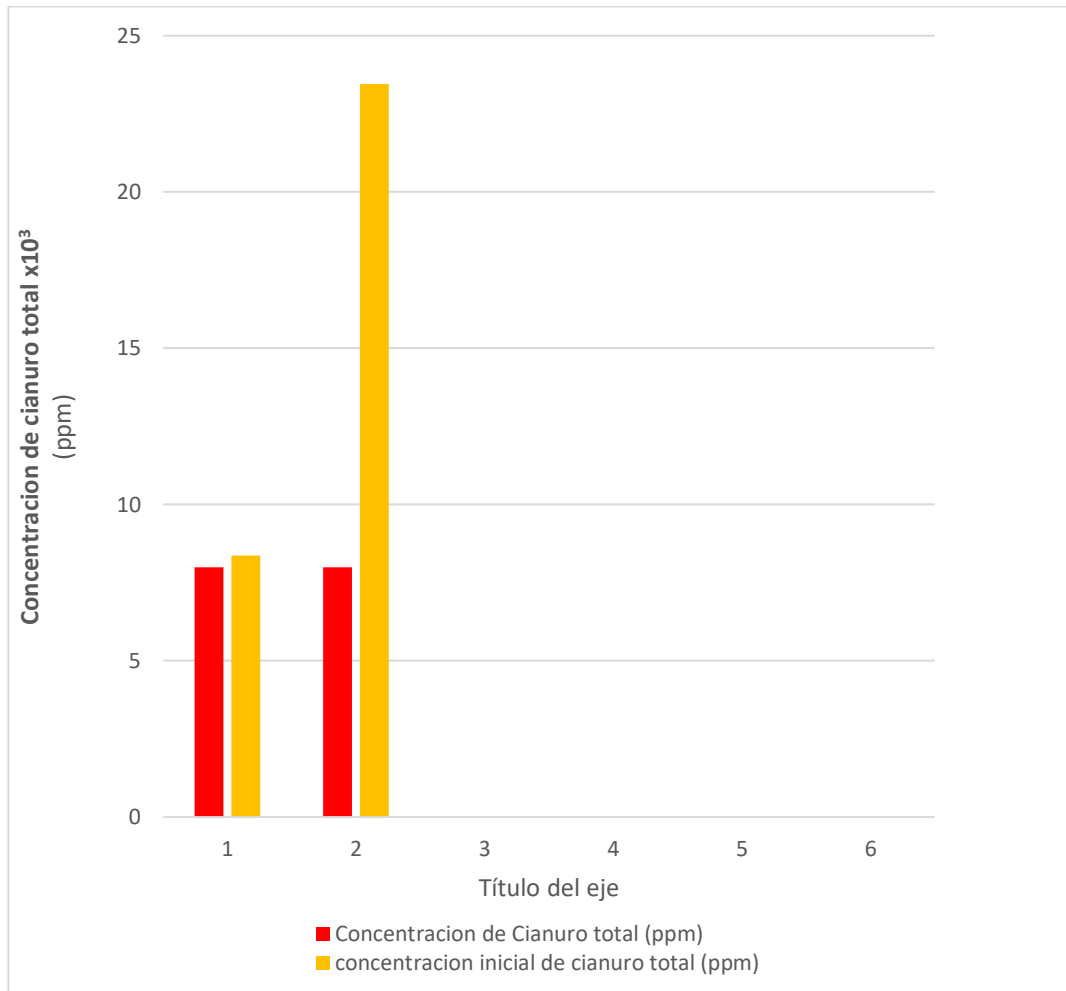
Fuente: Elaboración Propia

GRAFICO N° 5.4  
CONCENTRACIÓN DE CIANURO TOTAL VS CONCENTRACIÓN  
INICIAL DE CIANURO TOTAL A 10 VOLTIOS Y FLUJO 300 L/H



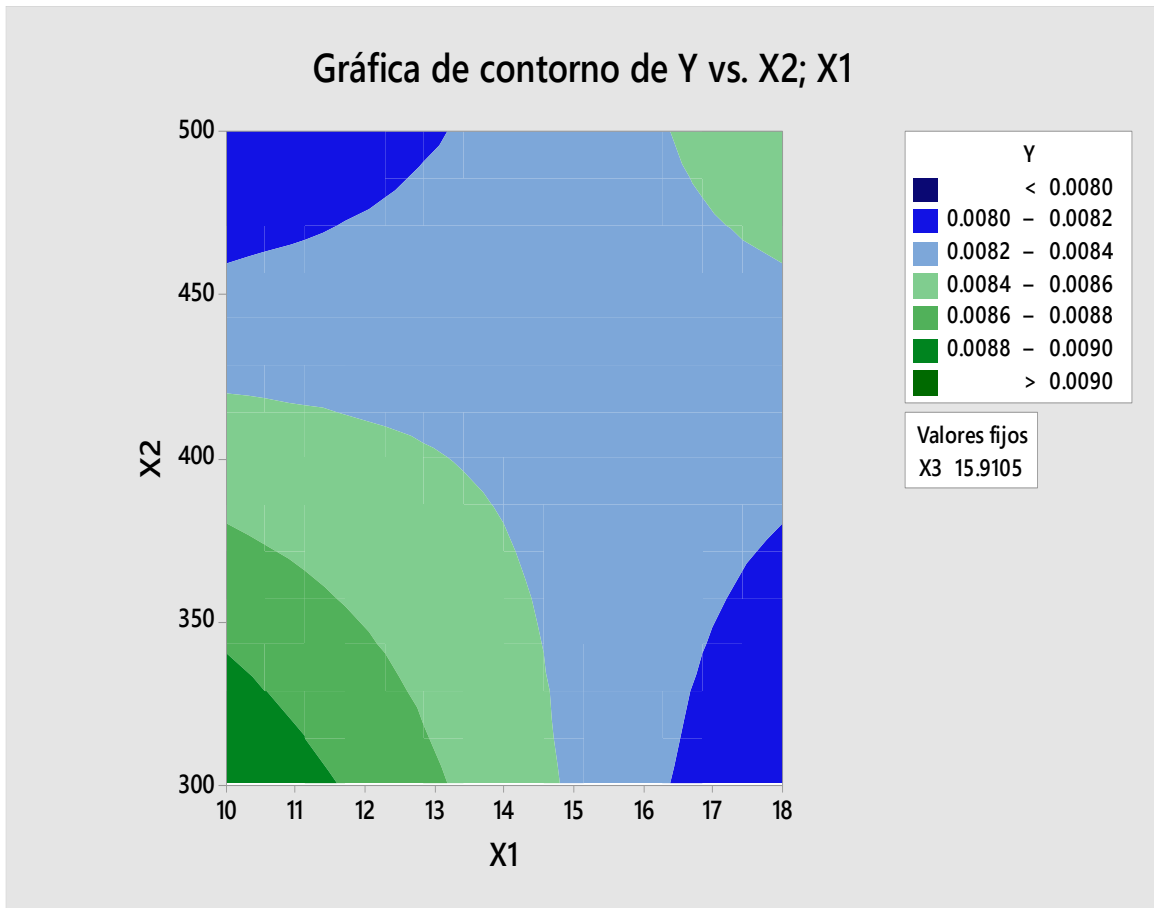
Fuente: Elaboración Propia

GRAFICO N° 5.5  
CONCENTRACIÓN DE CIANURO TOTAL VS CONCENTRACIÓN  
INICIAL DE CIANURO TOTAL A 18 VOLTIOS Y FLUJO DE 500 L/H



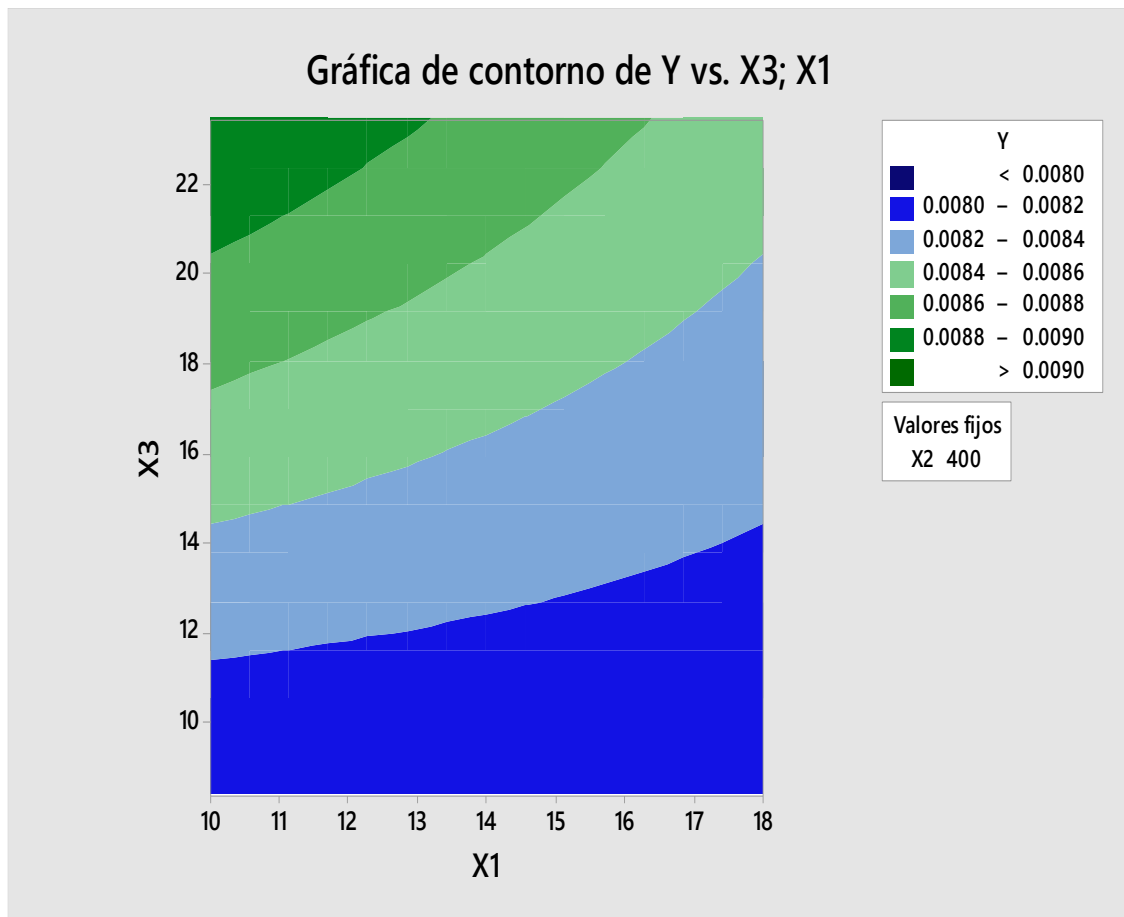
Fuente: Elaboración Propia

GRAFICO N° 5.6  
CONCENTRACIÓN DE CIANURO TOTAL VS CONCENTRACIÓN  
INICIAL DE CIANURO TOTAL Y FLUJO DE 500 L/H



Fuente: Elaboración Propia

GRAFICO N° 5.7  
CONCENTRACIÓN DE CIANURO TOTAL VS CONCENTRACIÓN  
INICIAL DE CIANURO TOTAL Y FLUJO DE 500 L/H

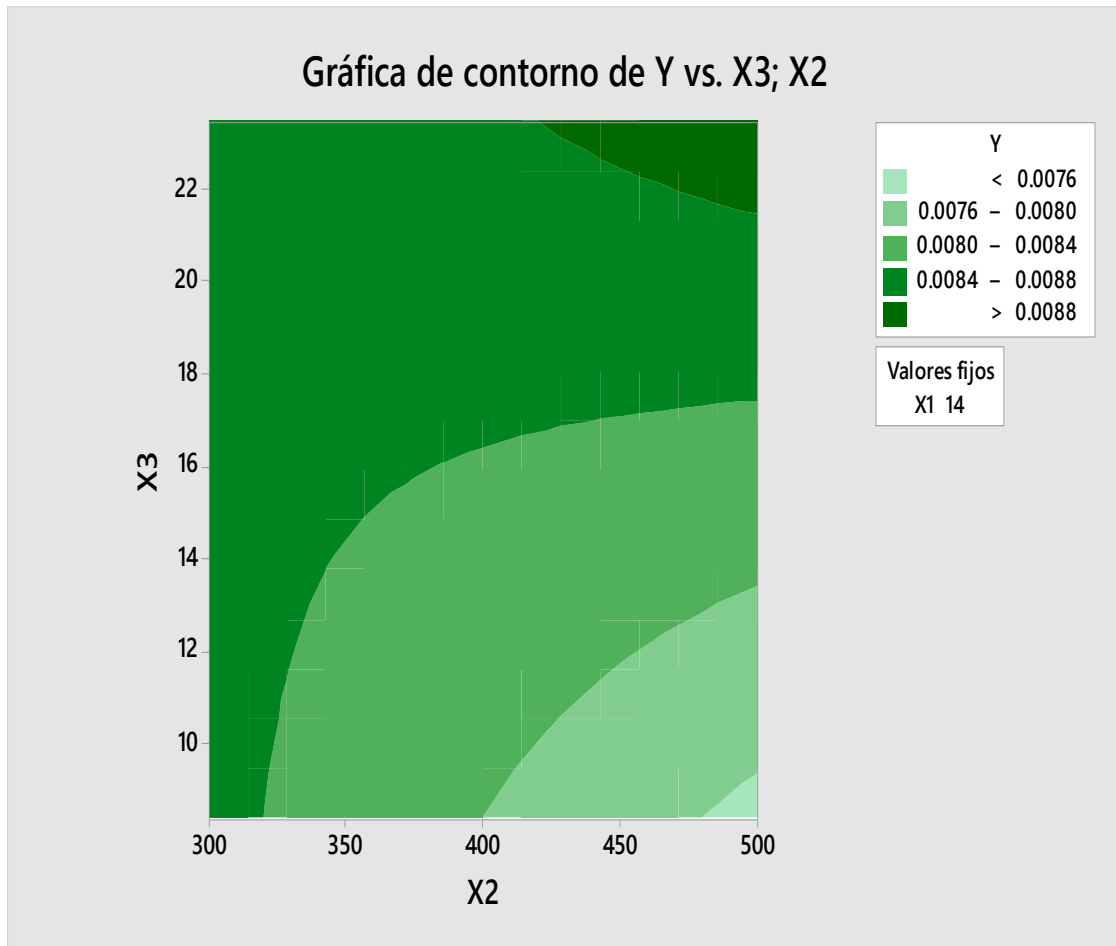


Fuente: Elaboración Propia

GRAFICO N° 5.8



CONCENTRACIÓN DE CIANURO TOTAL VS CONCENTRACIÓN  
INICIAL DE CIANURO TOTAL Y FLUJO DE 500 L/H



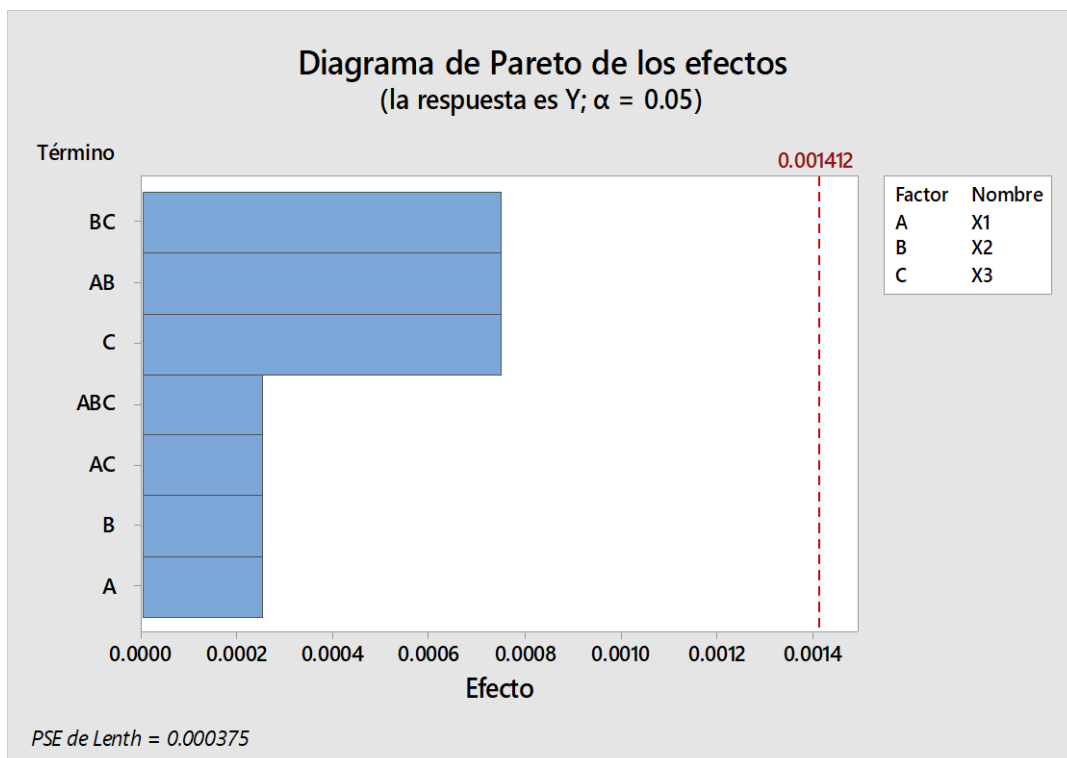
Fuente: Elaboración Propia

## ECUACIÓN DE REGRESIÓN

$$Y = 0.01971 - 0.000604 X_1 - 0.000032 X_2 - 0.000323 X_3 \\ + 0.000002 X_1 \cdot X_2 + 0.000012 X_1 \cdot X_3 + 0.000001 X_2 \cdot X_3 \\ - 0.000000 X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$$

Factor Nombre

- X1 : Potencial eléctrico (V)  
X2 : Flujo volumétrico (L/h)  
X3 : Concentración inicial total de cianuro (ppm)



## CAPITULO VI

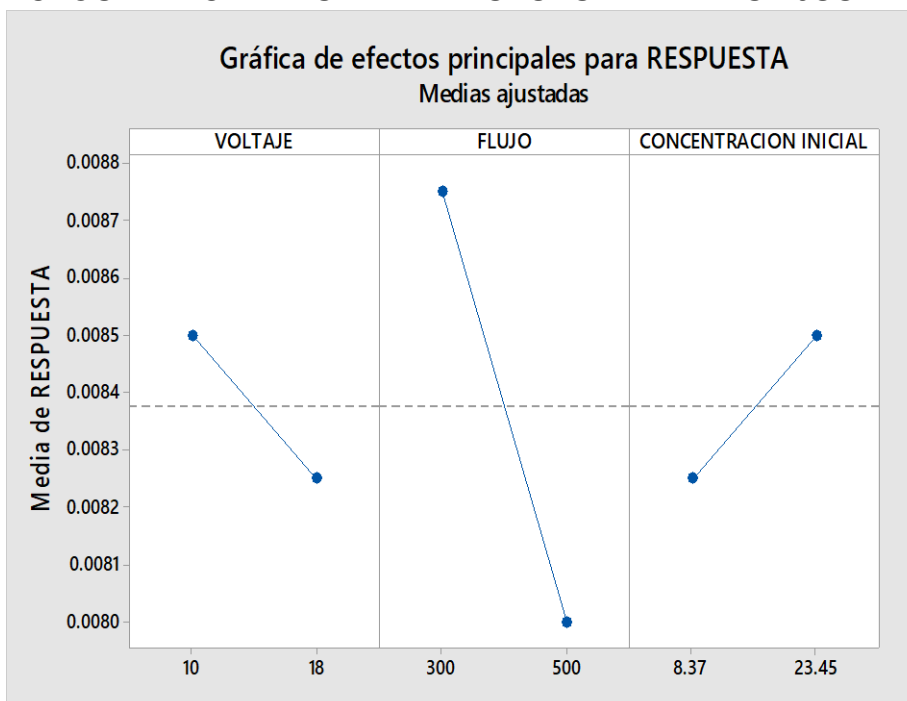
### DISCUSION DE RESULTADOS

A continuación, se analiza la influencia los parámetros de operación del módulo de electroionización (tensión aplicada, flujo de la corriente diluida y concentración inicial de cianuro del agua residual).

#### 6.1 Efecto de la tensión aplicada

De la gráfica N°5.1 y 5.2 se observa que la remoción de cianuro total a 18 voltios es 99,99% igual forma cuando el módulo opera a 10 voltios no existe variación significativa en ambos casos la remoción es casi 100% de cianuro total. De la Grafica N° 6.1 se observa que a 18 voltios presenta menor concentración media de cianuro total.

GRAFICA N° 6.1  
EFECTOS PRINCIPALES PARA RESPUESTA MEDIAS AJUSTADAS



Fuente : Elaboracion propia

## **6.2 Efecto del flujo volumétrico de la corriente de permeado**

De la gráfica N° 6.1 se observa cuando el flujo de la corriente de permeado es de 500 L/h. presenta menor concentración de cianuro total, que trabajando a 300 L/h.

## **6.3 Efecto de la concentración inicial de cianuro total**

De la gráfica 5. 4 y 5.5 se observa que el porcentaje de separación de cianuro total obtenido es independiente de la concentración inicial de cianuro total en la alimentación. En ambas concentraciones se alcanza 99,8%. De la gráfica 6.1 se observa que a menor concentración de cianuro total en la alimentación del equipo de electroionización se ha obtenido menor concentración media de cianuro total.

## **CAPITULO VII**

### **CONCLUSIONES**

1. Mediante el análisis de Cianuro Total muestran que su concentración promedio final alcanzada es de 0,008 ppm, el mismo que está por debajo del Límite Máximo Permisible que indica el Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM cuyo valor es 0,07ppm.
  
2. Los parámetros más adecuados de operación y niveles del módulo de electro ionización es de potencial eléctrico igual a 18 voltios, concentración inicial de cianuro total de 8,37 ppm y flujo de 500 L/h, ya que cumplen los estándares de calidad de agua de Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM.
  
3. El porcentaje de remoción de iones cianuro del agua de lavado es del 99.95% lo que resultaría de utilidad el uso de módulos de sistemas combinados de osmosis inversa y electro ionización para la remoción de este tipo de iones, además de ser un sistema de una tecnología limpia que trabaja a temperatura ambiente y que no utiliza reactivos químicos para el tratamiento del cianuro. La concentración de cianuro total del agua residual que ingresa al módulo de electro ionización es de 8,37 ppm y 23,45 ppm.
  
4. Los resultados en el módulo de ósmosis inversa alcanzan una conductibilidad de 40 us en todas las pruebas efectuadas, no hay una dependencia de la conductibilidad de alimentación ni tampoco de la concentración de alimentación en el rango estudiada.

## **CAPITULO VIII**

### **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda efectuar la experimentación a mayor tensión aplicada al módulo de electroionización y determinar el corriente límite para diferentes concentraciones.
2. Experimentar con concentraciones iniciales de cianuro total a mayor ppm. Para ver su influencia con la tensión aplicada.
3. Se recomienda efectuar análisis de iones cobre en la corriente diluida y concentrada y lavado de electrodos.
4. Se recomienda reciclar la corriente de concentrado a las celdas de los procesos electrolíticos.
5. Se recomienda evaluar la influencia de la concentración de cianuro total con respecto al flujo de concentrado y lavado de electrodos.

## **CAPITULO IX**

### **REFERENCIALES**

1. ACHILLES, JUNQUEIRA BOURDOT DUTRA, proceso electroquímico como Alternativa para o tratamiento de efluentes cianhídricos Journal of the Brazilian chemical society Pág. 267 -272, 2002.
2. CIFUENTES, GERARDO Obtención de nuevo material anódico para la oxidación electrolítica de cianuro parte I. Departamento de ing. metalurgia, Universidad de Santiago de Chile.
3. Jung-Hoon Song, Kyeong-Ho Yeon, Jaeweon Cho and Seung-Hyeon Moon, Effects of the Operating Parameters on the Reverse Osmosis-Electrodeionization Performance in the Production of High Purity Water Department of Environmental Science and Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), Oryong dong, Buk-gu, Gwangju 500-712, South Korea.
4. Jung-Hoon Song, Kyeong-Ho Yeon, Seung-Hyeon Moon "Effect of current density on ionic transport and water dissociation phenomena in a continuous electrodeionization (CEDI)"
5. LAWSON, MOYA. Estrategias experimentales para el mejoramiento de la calidad en la industria. México: Grupo editorial Iberoamericana. Primera Edición 1992.
6. L. YURRAMENDI, E. IPIÑAZA R. SOLOZABAL Eliminación de cianuros Presentes en efluentes Industriales. Ingeniería Química – octubre 1994. Pág. 129- 133.
7. ZILO, GRANDE FRANCESCO Copper Electrodeposition and Oxidation of complex cyanide From Wastewater in an Electrochemical reactor with a Ti/Pt Anode. Ind.Eng. Chem Rev. 2000. 39. pag. 2132- 2139.