

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Tesis previa a la obtención del Título de  
Ingeniero Ambiental

**TÍTULO:**

“REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CIANURO CON TRATAMIENTO  
DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA  
INDUSTRIA DEL GALVANIZADO”

**AUTORAS:**

FÁREZ ROMÁN CLAUDIA VALERIA.  
LANDI DURÁN PRISCILA ELIZABETH.  
PARRA NARVÁEZ ADRIANA LUCÍA.

**DIRECTOR:**

INGENIERO SERVIO ASTUDILLO

Cuenca, Diciembre del 2011

## RESUMEN

La industria del galvanizado tiene como objetivo el recubrimiento de piezas metálicas para prevenir la corrosión y alargar su vida útil. Para este fin utilizan baños que contienen compuestos químicos de elevada toxicidad, tales como el cianuro, que llegan a formar parte de los efluentes, y son considerados una fuente significativa de contaminación.

Nuestro trabajo de tesis está enfocado en la reducción de la cantidad de cianuro de este tipo de aguas residuales, mediante un proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), cuya concentración pertenece al orden de 130 volúmenes. Para lo cual se diseñó y construyó un equipo conformado por un sistema de distribución, mismo que suministra el agua a tratar hacia tres cubas de acero inoxidable 304. Además de un sistema de control de temperatura (basado en pirómetros) y un sistema de agitación (bombas de agua).

El diseño experimental empleado corresponde a un diseño factorial de dos factores: tiempo de retención y temperatura, con tres (5, 15 y 180 minutos) y dos ( $16^{\circ}C$  y  $26^{\circ}C$ ) niveles respectivamente, los cuales fueron establecidos mediante pruebas preliminares.

Para la realización de pruebas preliminares y concluyentes se utilizó como testigo una solución patrón, cuyos parámetros se basaron en análisis de muestras de agua obtenidas en la empresa Tecnoproducción, ubicada en la ciudad de Cuenca. Se tomó una muestra por cada nivel de producción (alta, media y baja). Partiendo de estos resultados se consideró la cantidad más elevada de los principales componentes del agua: hidróxidos, zinc y cianuro. Utilizando esta metodología se previó que el sistema trabaje en las condiciones de mayor exigencia, además se eliminó posibles errores en los

resultados finales debido a que se dan variaciones extremas en la concentración del contaminante objeto de reducción.

Para elaborar la solución patrón se mezclaron los compuestos (sulfato de zinc, hidróxido de potasio y cianuro de sodio) mediante aforo químico, en cinco litros de agua potable, correspondiente a cada cuba. La cantidad de peróxido de hidrógeno agregada se determinó primeramente mediante un balance estequiométrico, en el cual se evidenció que por cada mol de cianuro se requiere un mol de peróxido de hidrógeno, con análisis posteriores se concluyó que al utilizarse el doble de  $H_2O_2$  se obtienen mejores rendimientos.

Al finalizar cada ensayo se extraían muestras que fueron recolectadas en recipientes estériles de 150 ml., conservadas a  $4^{\circ}C$  y envueltas en papel aluminio hasta el momento de su análisis en los laboratorios de saneamiento del departamento de gestión ambiental de ETAPA.

Los resultados finales evidenciaron que el mejor tratamiento, con un rendimiento de 74%, se presenta a los 180 minutos con una temperatura de  $26^{\circ}C$ . Las condiciones óptimas necesarias para lograr este resultado son un pH de 10, agitación constante para homogenizar los componentes y la aplicación de una sola vez del volumen total de peróxido de hidrógeno.

## DEDICATORIA

**A** nuestros padres y hermanos por inculcarnos sus buenos valores, también por ser el motor que nos impulsa a seguir luchando y apoyarnos incondicionalmente en momentos de triunfos y fracasos.

A nuestros amigos por brindarnos su apoyo y camaradería haciendo más llevables las situaciones difíciles del día a día.

A Dios por convertirnos en personas de bien y ser nuestra fuente de inspiración.

## AGRADECIMIENTOS

**L**as autoras agradecen principalmente a la empresa Tecnoproducción de la ciudad de Cuenca, por permitir la utilización de sus aguas residuales del proceso de galvanizado para su respectivo estudio, a más de haber brindado su apoyo incondicional a la realización de esta investigación.

De igual manera, al Ingeniero Servio Astudillo por la desinteresada aportación con sus conocimientos, los cuales se han convertido en una guía y pilar fundamental para la realización de este trabajo.

Finalmente un agradecimiento sincero a todos/as quienes hicieron posible que este proyecto llegue a su término.

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Claudia Valeria Fárez Román, Priscila Elizabeth Landi Durán y Adriana Lucía Parra Narváez, bajo mi supervisión.

-----  
Ingeniero Servio Astudillo

**DIRECTOR DE TESIS**

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de las autoras.

Cuenca, Noviembre del 2011

-----  
Valeria Fárez Román

-----  
Priscila Landi Durán

-----  
Adriana Parra Narváez

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	14
JUSTIFICACIÓN .....	16
OBJETIVOS.....	18
OBJETIVO GENERAL .....	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
HIPÓTESIS GENERAL.....	18
PARTE I.....	19
CAPÍTULO I: EL AGUA .....	19
CAPÍTULO II: CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR ACTIVIDAD INDUSTRIAL.....	35
CAPÍTULO III: LA INDUSTRIA DE GALVANIZADO .....	42
CAPÍTULO IV: CIANURO .....	65
CAPÍTULO V: MARCO LEGAL.....	89
CAPÍTULO VI: PERÓXIDO DE HIDRÓGENO .....	96
CAPÍTULO VII: PERÓXIDO DE HIDRÓGENO COMO TRATAMIENTO PARA LA ELIMINACIÓN DE CIANUROS DEL AGUA .....	113
PARTE II.....	118
I. MATERIALES Y MÉTODOS.....	118
II. MATERIALES Y REACTIVOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO.....	123
III. METODOLOGÍA APLICADA .....	128
PARTE III.....	143
RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	143
CONCLUSIONES .....	158
RECOMENDACIONES.....	160
PROYECCIÓN FUTURA .....	161
ANEXOS.....	162
BIBLIOGRAFÍA .....	188
GLOSARIO .....	195

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>ILUSTRACIÓN 1.-</b> BALANCE DE AGUA EN EL HOMBRE.....	22
<b>ILUSTRACIÓN 2.-</b> BIODIVERSIDAD MARINA DE LAS ISLAS GALÁPAGOS.....	23
<b>ILUSTRACIÓN 3.-</b> VISTA DE LA TIERRA DESDE APOLO 17.....	24
<b>ILUSTRACIÓN 4.-</b> DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA TIERRA.....	26
<b>ILUSTRACIÓN 5.-</b> PRECIPITACIÓN ANUAL PROMEDIO (MM).....	28
<b>ILUSTRACIÓN 6.-</b> CICLO HIDROLÓGICO.....	30
<b>ILUSTRACIÓN 7.-</b> DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE UNA MOLÉCULA DE AGUA.....	31
<b>ILUSTRACIÓN 8.-</b> CENTRAL AGOYÁN, AMBATO – ECUADOR.....	34
<b>ILUSTRACIÓN 9.-</b> CARGA RESIDUAL DE UNA INDUSTRIA TEXTIL.....	37
<b>ILUSTRACIÓN 10.-</b> CONTAMINACIÓN DE FUENTES HÍDRICAS EN ZHUMIRAL – CANTÓN PONCE ENRÍQUEZ.....	39
<b>ILUSTRACIÓN 11.-</b> PISCINAS DE CRUDO EN LA AMAZONÍA ECUATORIANA, CASO CHEVRON – TEXACO.....	40
<b>ILUSTRACIÓN 12.-</b> ESQUEMA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN RECUBRIMIENTO DE GALVANIZADO TÍPICO.....	44
<b>ILUSTRACIÓN 13.-</b> CELDA GALVÁNICA.....	45
<b>ILUSTRACIÓN 14.-</b> CUBA GALVÁNICA CON TAMBOR GIRATORIO.....	46
<b>ILUSTRACIÓN 15.-</b> RECTIFICADOR.....	47
<b>ILUSTRACIÓN 16.-</b> ASA REDONDA GALVANIZADA.....	48
<b>ILUSTRACIÓN 17.-</b> CORROSIÓN GALVÁNICA.....	49
<b>ILUSTRACIÓN 18.-</b> TAMBOR GIRATORIO.....	53
<b>ILUSTRACIÓN 19.-</b> SUSPENSIÓN DE LA BARRA CATÓDICA.....	54
<b>ILUSTRACIÓN 20.-</b> ÁNODO DE ZINC.....	54
<b>ILUSTRACIÓN 21.-</b> SECADO DE PIEZAS A TEMPERATURA AMBIENTE.....	55
<b>ILUSTRACIÓN 22.-</b> DIAGRAMA DE FLUJO DE UN PROCESO DE GALVANIZADO.....	57
<b>ILUSTRACIÓN 23.-</b> ÁCIDO CLORHÍDRICO EMPLEADO EN PROCESO DE DECAPADO.....	59
<b>ILUSTRACIÓN 24.-</b> CANALES QUE LLEVAN LOS EFLUENTES HACIA EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO.....	60
<b>ILUSTRACIÓN 25.-</b> PÉRDIDA ACCIDENTAL OCASIONADA EN UNO DE LOS ENJUAGUES DEL PROCESO.....	61
<b>ILUSTRACIÓN 26.-</b> EQUIPO MÍNIMO NECESARIO DE TRABAJO.....	65

<b>ILUSTRACIÓN 27.-</b> BRIQUETAS DE CIANURO DE SODIO.....	69
<b>ILUSTRACIÓN 28.-</b> FUENTES NATURALES DE CIANURO. ....	70
<b>ILUSTRACIÓN 29.-</b> BAÑO ELECTROLÍTICO DE ZINC.....	74
<b>ILUSTRACIÓN 30.-</b> TANQUE PARA ENJUAGUES. ....	75
<b>ILUSTRACIÓN 31.-</b> EQUILIBRIO DE CN –/HCN CON EL PH.....	79
<b>ILUSTRACIÓN 32.-</b> EXTRACTO DE LA TABLA DE LÍMITES PERMISIBLES DE CONTAMINANTE DEL AGUA POTABLE EN AMÉRICA SEGÚN LA OMS.....	82
<b>ILUSTRACIÓN 33.-</b> CICLO DE CIANURO Y SU COMPORTAMIENTO EN RELAVES.....	84
<b>ILUSTRACIÓN 34.-</b> ESTRUCTURA DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO.....	97
<b>ILUSTRACIÓN 35.-</b> ESTRUCTURA Y OBTENCIÓN DE LOS PEROXIÁCIDOS.....	107
<b>ILUSTRACIÓN 36.-</b> PH DEL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO DE ALTA PUREZA A DIFERENTES CONCENTRACIONES.....	108
<b>ILUSTRACIÓN 37.-</b> REDUCCIÓN DE CIANURO SEGÚN TIEMPO DE RETENCIÓN.....	116
<b>ILUSTRACIÓN 38.-</b> RESULTADOS DE UNA PLANTA PILOTO DE TRABAJO PARA REDUCCIÓN DE CIANURO.....	118
<b>ILUSTRACIÓN 39.-</b> SISTEMA DE TRATAMIENTO. ....	119
<b>ILUSTRACIÓN 40.-</b> TANQUE DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA RESIDUAL.....	120
<b>ILUSTRACIÓN 41.-</b> CUBA DE TRATAMIENTO. ....	121
<b>ILUSTRACIÓN 42.-</b> BOMBA DE AGUA SUMERGIBLE.....	122
<b>ILUSTRACIÓN 43.-</b> SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA. ....	122
<b>ILUSTRACIÓN 44.-</b> PERÓXIDO DE HIDRÓGENO DE 130 VOLÚMENES.....	125
<b>ILUSTRACIÓN 45.-</b> BRIQUETAS DE CIANURO.....	126
<b>ILUSTRACIÓN 46.-</b> SULFATO DE ZINC.....	127
<b>ILUSTRACIÓN 47.-</b> HIDRÓXIDO DE POTASIO UTILIZADO PARA MANTENER EL PH ALCALINO DE LA SOLUCIÓN PATRÓN.....	128
<b>ILUSTRACIÓN 48.-</b> RENDIMIENTO COMPARADO DE LAS CONCENTRACIONES 1:1 Y 2:1.....	130
<b>ILUSTRACIÓN 50.-</b> RENDIMIENTO DE PRUEBAS PARA 21°C.....	132
<b>ILUSTRACIÓN 51.-</b> RENDIMIENTO DE PRUEBAS PARA 26°C.....	133
<b>ILUSTRACIÓN 52.-</b> RENDIMIENTO COMPARADO DE PRUEBAS A 21°C Y 26°C. ....	133
<b>ILUSTRACIÓN 53.-</b> RENDIMIENTO DE LOS ENSAYOS PARA TIEMPO DE RETENCIÓN, PRUEBAS PRELIMINARES.....	135
<b>ILUSTRACIÓN 54.-</b> RESULTADOS DE RENDIMIENTO PARA TIEMPO DE RETENCIÓN EN EL TRANSCURSO DE ONCE HORAS. ....	136
<b>ILUSTRACIÓN 55.-</b> GEOREFERENCIACIÓN CON GOOGLE EARTH DEL PUNTO DE MUESTREO. ....	137

<b>ILUSTRACIÓN 56.- PUNTO DE MUESTREO.</b> .....	139
<b>ILUSTRACIÓN 57.- ESQUEMA DEL PROCESO DE ZINCADO Y PAVONADO.</b> .....	139
<b>ILUSTRACIÓN 58.- TOMA DE MUESTRAS Y PRUEBAS INSITU EN LA EMPRESA.</b> .....	140
<b>ILUSTRACIÓN 59.- TOMA Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS POSTERIOR A LOS ENSAYOS.</b> ..	141
<b>ILUSTRACIÓN 60.- PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN PATRÓN.</b> .....	142
<b>ILUSTRACIÓN 61.- GRÁFICO DE ANOVA.</b> .....	150
<b>ILUSTRACIÓN 62.- GRÁFICO DE MEDIAS Y 95% DE FISHER LSD, FACTOR TIEMPO DE RETENCIÓN.</b> .....	152
<b>ILUSTRACIÓN 63.- GRÁFICO DE MEDIAS Y 95% DE FISHER LSD, FACTOR TEMPERATURA.</b> .....	153
<b>ILUSTRACIÓN 64.- GRÁFICO DE INTERACCIONES.</b> .....	154
<b>ILUSTRACIÓN 65.- GRÁFICO DE DISPERSIÓN.</b> .....	155
<b>ILUSTRACIÓN 66.- GRÁFICO DE PROBABILIDAD NORMAL.</b> .....	156
<b>ILUSTRACIÓN 67.- GRÁFICO DE RESIDUOS VS. FACTOR TIEMPO DE RETENCIÓN.</b> .....	157
<b>ILUSTRACIÓN 68.- GRÁFICO DE RESIDUOS VS. FACTOR TEMPERATURA.</b> .....	157
<b>ILUSTRACIÓN 69.- GRÁFICO DE INDEPENDENCIA.</b> .....	158

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.-</b> DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA TIERRA. ....	25
<b>TABLA 2.-</b> PRINCIPALES PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA. ....	31
<b>TABLA 3.-</b> PROTECCIÓN POR AÑOS SEGÚN ESPESOR DE ZINC Y TIPO DE ATMÓSFERA. ....	49
<b>TABLA 4.-</b> COMPOSICIÓN DE UN BAÑO ALCALINO CIANURADO. ....	53
<b>TABLA 5.-</b> PÉRDIDA DE ESPESOR DE ZINC EN DIFERENTES AMBIENTES DE ACUERDO CON LA NORMA ISO 9223. CORROSIÓN DE METALES Y ALEACIONES. ....	56
<b>TABLA 6.-</b> EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES SOBRE INSTALACIONES DE ALCANTARILLADO. .	62
<b>TABLA 7.-</b> CONCENTRACIONES DE CIANURO EN PLANTAS SELECCIONADAS. ....	71
<b>TABLA 8.-</b> CONTENIDO DE ÁCIDO CIANHÍDRICO EN ALGUNAS PLANTAS. ....	72
<b>TABLA 9.-</b> ESTABILIDAD RELATIVA DE LOS COMPLEJOS DE CIANURO EN AGUA. ....	80
<b>TABLA 10.-</b> LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO. ....	93
<b>TABLA 11.-</b> RELACIÓN DE TEMPERATURA Y VELOCIDAD DE DESCOMPOSICIÓN DEL H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> . ....	102
<b>TABLA 12.-</b> MATERIALES Y SUSTANCIAS INCOMPATIBLES CON EL PERÓXIDO DE HIDRÓGENO. ....	112
<b>TABLA 13.-</b> RESULTADOS DE RENDIMIENTO A PARTIR DE CONCENTRACIONES 1:1 Y 2:1. ....	130
<b>TABLA 14.-</b> RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A 21 °C. ....	131
<b>TABLA 15.-</b> RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A 26°C. ....	132
<b>TABLA 16.-</b> RESULTADOS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN A TEMPERATURA AMBIENTE DURANTE EL TRANCURSO DE 11 HORAS. ....	134
<b>TABLA 17.-</b> TABLA GENERAL DEL TIEMPO DE RETENCIÓN A TEMPERATURA AMBIENTE, JUNTO CON LOS TESTIGOS DE CADA PRUEBA. ....	136
<b>TABLA 18.-</b> COORDENADAS UTM DEL PUNTO DE MUESTREO. ....	138
<b>TABLA 19.-</b> VARIABLES DE ENTRADA Y SUS RESPECTIVOS NIVELES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO. ....	144
<b>TABLA 20.-</b> LIBRO DE DATOS, STATGRAPHICS. ....	145
<b>TABLA 21.-</b> TABLA DE SOLUCIONES PATRÓN EMPLEADAS EN LA EXPERIMENTACIÓN. ....	146
<b>TABLA 22.-</b> TABLA DE RESULTADOS. ....	146
<b>TABLA 23.-</b> RESUMEN DE RESULTADOS. ....	147
<b>TABLA 24.-</b> TABLA DE SOLUCIONES TESTIGO PARA DETERMINAR EL RENDIMIENTO. ....	147
<b>TABLA 25.-</b> RESUMEN ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE DE RESPUESTA (RENDIMIENTO). ....	148
<b>TABLA 26.-</b> ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE DE RESPUESTA. ....	149

<b>TABLA 27.-</b> GRUPOS HOMOGÉNEOS MEDIANTE PRUEBA DE RANGO MÚLTIPLE, MÉTODO LSD, FACTOR TIEMPO DE RETENCIÓN. ....	151
<b>TABLA 28.-</b> DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ENTRE NIVELES MEDIANTE PRUEBA DE RANGO MÚLTIPLE, MÉTODO LSD, FACTOR TIEMPO DE RETENCIÓN. ....	151
<b>TABLA 29.-</b> GRUPOS HOMOGÉNEOS MEDIANTE PRUEBA DE RANGO MÚLTIPLE, MÉTODO LSD, FACTOR TEMPERATURA. ....	152
<b>TABLA 30.-</b> DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ENTRE NIVELES MEDIANTE PRUEBA DE RANGO MÚLTIPLE, MÉTODO LSD, FACTOR TEMPERATURA. ....	153

## ÍNDICE DE ANEXOS

### **ANEXO A**

DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE OXIDACIÓN DE CIANUROS POR PERÓXIDO DE HIDRÓGENO.....	163
--	-----

### **ANEXO B**

INFORME DE RESULTADOS; ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE CIANURO LIBRE, LABORATORIO DE SANEAMIENTO DE ETAPA.....	164
--	-----

### **ANEXO C**

MEMORIA FOTOGRÁFICA.....	177
--------------------------	-----

## INTRODUCCIÓN

En los diferentes procesos productivos de las industrias se generan residuos sólidos, líquidos y/o gaseosos. Los cuales dentro de su composición pueden contener sustancias altamente tóxicas. Muchos de los residuos líquidos son descargados directamente a las redes de alcantarillado que conducen hacia plantas de tratamiento en las que por presencia de estos contaminantes se reduce la eficiencia del proceso de depuración. Y consecuentemente llegan a los ríos sin ningún tipo de tratamiento ocasionando una grave contaminación de los cuerpos de agua.

En el caso específico de la industria del galvanizado se emplean una serie de compuestos químicos para tratar piezas de metal, con el fin de volverlas resistentes a la corrosión. Las sales de cianuro son empleadas en altas concentraciones en los baños galvánicos. Las mismas, pueden ocasionar graves problemas sobre los ecosistemas debido a su elevada toxicidad, pues aún en pequeñas concentraciones son capaces de inhibir la respiración celular en organismos superiores. Lo cual tiene efectos devastadores sobre la vida en entornos, sobre todo acuáticos.

Existe una serie de alternativas para tratar aguas cianuradas, dentro de ellas constan métodos químicos, biológicos, de fotodegradación, entre los principales. Los métodos químicos incluyen la utilización de compuestos que actúan como agentes oxidantes del ión cianuro, logrando degradarlo a su forma menos tóxica, el cianato. Algunos de los compuestos más empleados con este fin son el hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ), el ácido de caro ( $\text{H}_2\text{SO}_5$ ) y el peróxido de hidrógeno. (Gaviria et al., 2006). Este último presenta ventajas sobre los primeros debido a que no contribuye al contenido de sales del agua, y el exceso del mismo se descompone en sustancias inocuas para el medioambiente. Además su costo no es tan elevado como el de las otras sustancias usadas con este fin.

Previamente se han desarrollado estudios para determinar la eficiencia de la reducción de cianuro en el tratamiento de aguas residuales, obteniéndose valiosa información sobre este procedimiento. Se ha establecido que mientras mayor es el tiempo de retención, mayor es el rendimiento obtenido en la disminución de la concentración del ión cianuro, teniendo que en 4 horas se puede reducir un 95%. (Gaviria et al., 2006). En este procedimiento no se contempló la influencia que puede tener la temperatura en el proceso de oxidación. Se ha determinado además que con la adición de pocos ppm de catalizadores que consisten en sales de metales solubles, como el cobre, la velocidad de reacción y el grado de eliminación del ión cianuro pueden ser reforzados. (Mamani, 2007).

En el presente trabajo de investigación se busca determinar si el tratamiento con peróxido de hidrógeno reduce la concentración del ión cianuro en las aguas residuales provenientes de la industria del galvanizado, analizando la influencia que tienen las variables de tiempo de retención y temperatura en el rendimiento del proceso. Todo esto llevado a cabo mediante un estudio en laboratorio con aguas de composición similar a las generadas en la industria.

Los resultados obtenidos nos muestran que el peróxido de hidrógeno es un adecuado agente oxidante para el cianuro. Además, que las variables estudiadas tienen influencia sobre el rendimiento del proceso, sin embargo existen ciertos factores que todavía se deberían estudiar y controlar para aumentar la eficiencia del mismo.

## JUSTIFICACIÓN

El agua es el origen de la vida, ocupa las tres cuartas partes de nuestro planeta. Aproximadamente el 71% de la corteza terrestre está cubierta por agua siendo solamente el 0,04% aprovechable para el consumo humano y actividades productivas y de recreación. Este porcentaje se encuentra formando parte de la humedad de los suelos, lagos, atmósfera, ríos, embalses y seres vivos.

El incremento de la población genera una mayor demanda de productos que para su fabricación requieren una abundante cantidad de agua, la misma que al ser empleada en los distintos procesos del ciclo productivo se convierte en agua de desecho, que en muchos de los casos contiene contaminantes de elevada toxicidad, que requieren de tratamientos específicos para su degradación.

La falta de conciencia y la primacía de los intereses económicos han hecho que se exploten los recursos naturales de una manera indiscriminada para permitir que la industria se expanda, además en el pasado se ha dado muy poca importancia al manejo y tratamiento de los desechos generados por la misma, deteriorando de una forma paulatina nuestro medio ambiente.

Por tal motivo hemos desarrollado nuestro estudio basado en el tratamiento de las aguas provenientes de un proceso industrial que genera gran impacto hacia la comunidad: la industria galvánica, misma que aplica un conjunto de mecanismos, procesos y agentes químicos, para el tratamiento de superficies metálicas.

Las aguas residuales procedentes de este tipo de industrias tienen un alto contenido de sales de cianuro y metales pesados que sobrepasan las normativas establecidas para los efluentes descargados al sistema de alcantarillado público. Este hecho tiene efectos adversos sobre las comunidades acuáticas y sobre los niveles tróficos superiores que dependen de ellas, debido a que las sales de cianuro son compuestos altamente tóxicos aún en pequeñas concentraciones.

En nuestra ciudad existe un número reducido de empresas que se dedican a estas actividades a mediana escala, pero no cabe duda que los residuos que generan, representan una problemática ambiental de gran interés. Por lo tanto siendo estudiantes del campo ambiental hemos visto necesario y oportuno desarrollar una técnica y aplicar metodologías que contribuyan a la reducción del ión cianuro en las aguas residuales galvánicas; y así apoyar a todos los esfuerzos y proyectos investigativos que se realizan en nuestra carrera, contribuyendo de manera activa a la sociedad para la generación de un ambiente sustentable.

La técnica de tratamiento escogida corresponde a un estudio de factibilidad – viabilidad de acuerdo con las características y necesidades de nuestro medio, pues el método de oxidación de cianuro con peróxido de hidrógeno, constituye una medida con resultados favorables a corto plazo y es de fácil aplicación para la empresa que la implemente.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General.-**

Reducir la cantidad de cianuro presente en las aguas residuales de la industria del galvanizado mediante un proceso de oxidación por peróxido de hidrógeno.

### **Objetivos Específicos.-**

1. Conocer el proceso de galvanizado e identificar las fuentes potenciales de contaminación, su volumen y concentración comparando con la normativa aplicable.
2. Determinar si la variación de los parámetros físicos (temperatura y tiempo de retención) influyen en el tratamiento.
3. Diseñar y construir un sistema semi – automatizado para realizar los ensayos en laboratorio.
4. Determinar las condiciones conjuntas de temperatura y tiempo de retención que proporcionen los mejores resultados en la reducción de cianuro.

## **HIPÓTESIS GENERAL**

El tratamiento con peróxido de hidrógeno reduce la concentración de cianuro en las aguas residuales provenientes de la industria del galvanizado.

**PARTE I**  
**MARCO TEÓRICO**  
**CAPÍTULO I**  
**EL AGUA**

**1.1 Generalidades.-**

El agua es el elemento más importante para la conservación de toda forma de vida conocida. Es una sustancia en la que intervienen dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno unidos mediante enlace covalente.

Más de dieciocho siglos se han necesitado para entender la naturaleza del agua. En un principio los filósofos griegos la consideraban uno de los cuatro elementos de la realidad universal. Ya para el siglo XIX se recurre a explicaciones racionales y científicas, en este contexto, Lord Henry Cavendish (1731 – 1810) descubrió que el agua no era un cuerpo simple, sino la asociación de hidrógeno y oxígeno. Por otro lado, Lavoisier mediante experimentaciones le otorga la fórmula H.O, que posteriormente fueron complementadas hacia mediados de siglo por los trabajos de Avogadro que le da la fórmula molecular definitiva H<sub>2</sub>O.

El agua es un elemento común del sistema solar. En su forma natural presenta tres estados: líquido, sólido (hielo) y gas (vapor) repartidos alrededor de todo el globo terráqueo. A temperatura ambiente es un líquido inodoro, insípido y en pequeñas cantidades, incoloro; en grandes masas adopta un color azulado pues retiene determinadas radiaciones.

Es fundamental en todos los procesos vitales, por lo que en general, es el componente más abundante de los seres vivos. El hombre para un funcionamiento adecuado requiere un aporte de 35 g de agua por cada kilogramo de peso. Por tal motivo su conservación y

uso racional se han convertido en prioridad en muchos países y han pasado a formar parte de sus políticas de Estado.

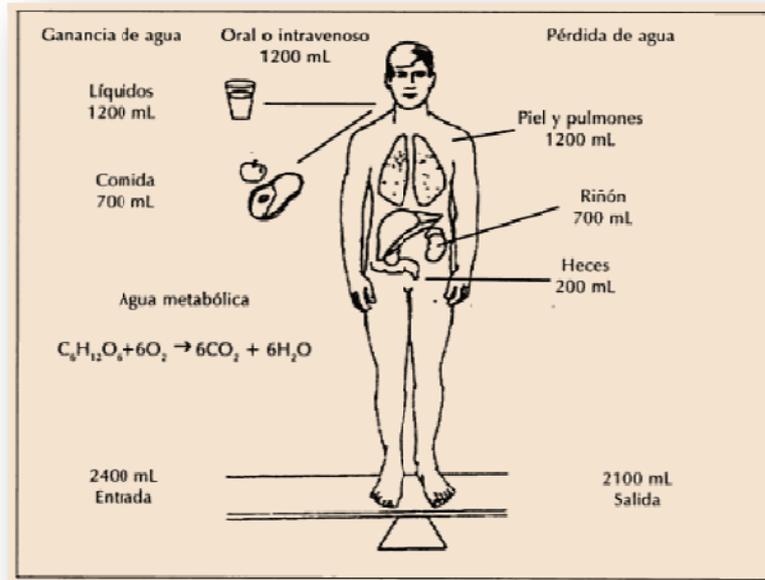
## **1.2 El agua y la vida.-**

El agua ha estado presente en la Tierra al poco tiempo de su creación, incluso antes que la atmósfera contuviera oxígeno y fuera apta para albergar vida. Los océanos en aquel entonces contenían grandes cantidades de elementos necesarios para la formación de moléculas vivientes: amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), mismos que bajo la influencia de la energía solar dieron origen a los primeros componentes de vida, que luego se ensamblaron para formar la primera célula viviente.

A partir de este acontecimiento todos los procesos vitales han dependido del agua, por lo que se ha convertido en el componente imprescindible de toda forma de vida. El 85% del total del cuerpo de los vegetales superiores es agua, mientras que en el hombre el porcentaje es superior al 60%.

En los animales y plantas, la sangre y otras diluciones acuosas transportan alimentos y desechos, oxígeno y dióxido de carbono. La cantidad indispensable diaria de agua para un adecuado funcionamiento en un adulto normal, es de uno a tres litros, que será influenciada de acuerdo al nivel de actividad, temperatura y humedad. El ser humano no puede soportar más de diez días sin beber agua.

### Ilustración 1.- Balance de agua en el hombre.



**Fuente:** TORTOLERO Alejandro, El agua y su historia México y sus desafíos hacia el siglo XXI, 2008.

En los ecosistemas el agua actúa directa o indirectamente en la mayoría de los procesos funcionales. Por ejemplo, mediante el fenómeno de translocación, las gotas de lluvia depositan ciertos minerales en el suelo, que son acarreados de la vegetación; así también gracias a su capacidad de crear soluciones, diluye ciertos elementos minerales, permitiendo su transporte hacia capas más profundas de terreno.

El agua cumple una función muy importante en plantas superiores, algas y cianobacterias; es el dador de electrones necesarios para llevar a cabo la fotosíntesis oxigénica, proceso mediante el cual se desprende oxígeno, y es indispensable para mantener la vida en la Tierra.

En los ciclos de los diferentes elementos químicos y otros materiales necesarios para la circulación de los nutrientes en la naturaleza, no debe existir ausencia de este recurso.

Los ecosistemas marinos influyen en las fluctuaciones del clima terrestre, albergan una gran variedad de especies vegetales y animales, que van desde el plancton hasta especies colosales, que interactúan entre sí para mantener el equilibrio natural. Este tipo de ecosistemas son los de mayor importancia y tamaño que existen. Los océanos cubren dos tercios de la superficie terrestre. Su volumen de 1.370 millones de kilómetros cúbicos representa el 97.6% del agua de nuestro planeta<sup>1</sup>

**Ilustración 2.-** Biodiversidad marina de las Islas Galápagos.



**Fuente:** [http://mural.uv.es/mangran/geomorfologia\\_marina.html](http://mural.uv.es/mangran/geomorfologia_marina.html)

Los ecosistemas de agua dulce a más de servir como hábitat de diversas especies de flora y fauna, cumplen con otras funciones importantes para el equilibrio ambiental, entre las más importantes:

- Abastecimiento de agua a un acuífero, a otra marisma y descarga de aguas subterráneas.
- Regulación de crecidas.
- Limita la entrada de agua salada.
- Retención de sedimentos.

---

<sup>1</sup><http://www.biotech.bioetica.org/ap2.htm>

- Retención de nutrientes y remoción de sustancias tóxicas<sup>2</sup>.

### 1.3 El agua en la Tierra.-

#### 1.3.1 Distribución del agua en la naturaleza.-

El agua es el elemento más abundante en la biosfera, se encuentra distribuido en la naturaleza en los tres estados de agregación de la materia: sólido, líquido y gaseoso, cubre las tres cuartas partes del planeta, como un 75% del total de la superficie terrestre. Si consideramos el área de la Tierra en km<sup>2</sup>, ésta posee 510 millones de los cuales 361 millones son agua, razón por la cual se le ha atribuido el nombre de “planeta azul”.

**Ilustración 3.-** Vista de la Tierra desde Apolo 17.



**Fuente:**[http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:The\\_Earth\\_seen\\_from\\_Apollo\\_17.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg)

El contenido de agua a nivel mundial se estima en unos 1360 millones de kilómetros cúbicos, cantidad que ha permanecido constante en el planeta desde su origen. El 97.5%

---

<sup>2</sup><http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/feb042.pdf>

del reservorio mundial es agua salada almacenada en océanos; por su elevado contenido de sales no permite su aprovechamiento directo por parte del hombre.

La hidrosfera se encuentra distribuida de la siguiente manera:

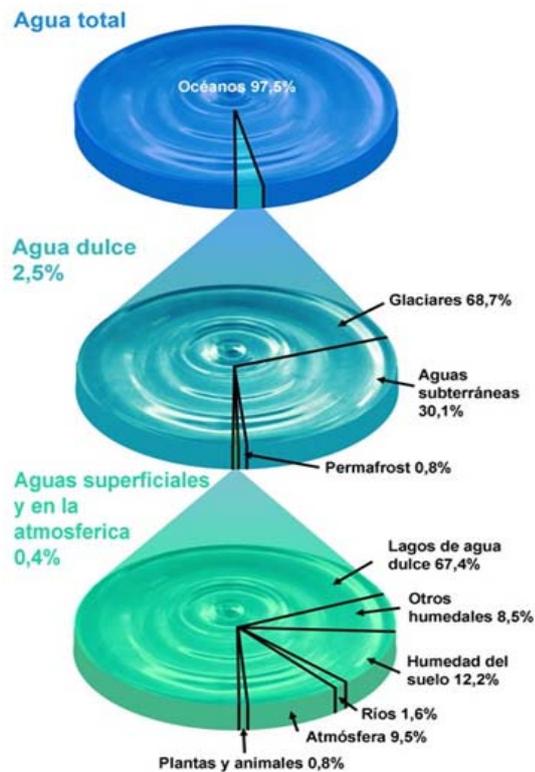
**Tabla 1.-** Distribución del agua en la Tierra.

ORIGEN DEL AGUA	VOLUMEN DEL AGUA EN km <sup>3</sup>
Océanos	1,321,000,000
Capas de hielo, glaciares	29,200,000
Agua subterránea	8,340,000
Lagos de agua dulce	125,000
Mares tierra adentro	104,000
Humedad de la tierra	66,700
Atmósfera	12,900
Ríos	2,250
Volumen total de agua	1,360,000,000

**Fuente:**<http://water.usgs.gov/gotita/waterdistribution.html>

El 2.5% del total de agua existente a nivel mundial, es agua dulce, repartida en glaciares, aguas subterráneas, aguas superficiales y permafrost de las regiones muy frías y periglaciares. El porcentaje de agua dulce en la naturaleza es muy inferior al del agua salada, sin embargo se renueva gracias a que la atmósfera dispone de 12,900 km<sup>3</sup> de vapor de agua. Menos del 1% del agua dulce se encuentra en estado líquido, pudiendo ser aprovechado por el hombre para el desarrollo de distintas actividades. Se estima que el 70% del agua dulce es utilizada para la agricultura, el 20% para la industria y el 10% restante para consumo doméstico.

**Ilustración 4.-** Distribución del agua en la Tierra.



**Fuente:**<http://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/figtableboxes/8.htm>

### 1.3.2 Ciclo hidrológico.-

Conocido también como ciclo del agua, constituye el aparato circulatorio de la biosfera a través del cual el agua está en constante movimiento y cambiando de estado (sólido, líquido y gas), garantizándose de esta manera la conservación del agua en la Tierra.

Este proceso es muy importante dentro de un ecosistema, pues determina la fisonomía de la vegetación y la distribución de los animales. Al mismo tiempo que actúa como solvente universal transportando elementos químicos. Depende principalmente de dos factores: la gravedad y la energía solar.

*En el ciclo hidrológico, cada año se evaporan de la Tierra y fluyen hacia la atmósfera unos 577.000 km<sup>3</sup> de agua, 502.800 km<sup>3</sup> provienen de los océanos y 74.200 km<sup>3</sup> de la evapotranspiración de los biomas continentales. La misma cantidad de agua se precipita como lluvia: sobre los océanos, unos 458 mil km<sup>3</sup> sobre las superficies continentales. La diferencia entre los volúmenes que se precipitan y los que se evapotranspiran de la superficie continental (44.800 km<sup>3</sup>) representan los flujos de aguas líquidas que retornan al mar a través de los ríos de la Tierra (42.600 km<sup>3</sup>) y de las corrientes subterráneas que descargan directamente al océano (2.200 km<sup>3</sup>) (UNEP 1992, Shiklomanov 1999)<sup>3</sup>.*

Los océanos por ser los mayores depósitos de agua, mueven grandes masas de este elemento alrededor de la Tierra, influyendo de manera directa en el ciclo hidrológico y consecuentemente en el clima. Los procesos que forman parte del ciclo del agua son:

#### **1.3.2.1 Evaporación.-**

El agua cambia de estado líquido a gaseoso por acción de la radiación solar. El ciclo se inicia principalmente en las grandes superficies líquidas (lagos, mares y océanos) que ingresan en forma de vapor a la atmósfera proporcionando un 90% de humedad, el 10% restante lo contribuyen las plantas gracias al proceso de transpiración.

#### **1.3.2.2 Condensación.-**

Proceso por el cual, el agua en forma de vapor asciende a capas altas de la atmósfera, se enfría y condensa creando las nubes. Este fenómeno también es responsable de la niebla.

#### **1.3.2.3 Precipitación.-**

Cuando las nubes se enfrían y como consecuencia la condensación se acelera, las partículas que conforman las nubes superan los 0.1 mm y constituyen gotas, que por acción de la gravedad caen a la superficie terrestre ya sea en forma líquida (lluvia) o

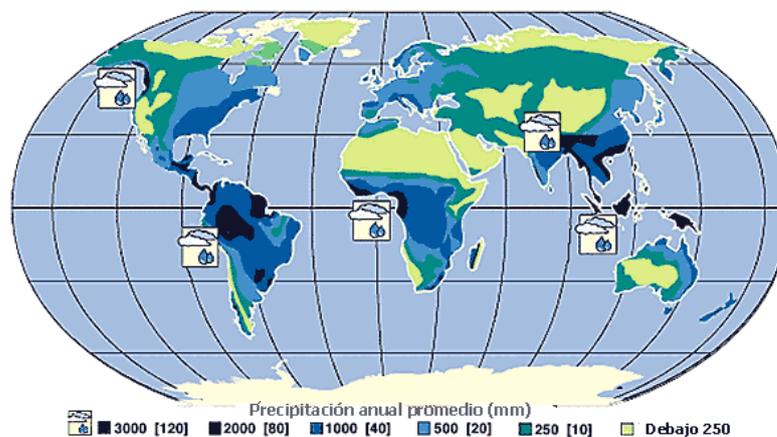
---

<sup>3</sup> TOLEDO Alejandro, *Agua, hombre y paisaje*, 1<sup>era</sup>. Edición, México 2006, p. 31

sólida (nieve o granizo). Mediante este proceso el agua retorna a la Tierra en su mayor proporción.

La precipitación difiere a lo largo del globo terráqueo, de acuerdo a investigaciones, unas tres cuartas partes de las precipitaciones anuales caen en zonas con menos de un tercio de la población mundial.

**Ilustración 5.-** Precipitación anual promedio (mm)



**Fuente:** <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>

#### **1.3.2.4 Escorrentía superficial.-**

El agua de lluvia que cae sobre suelo saturado o impermeable, circula siguiendo la pendiente del mismo hasta desembocar en los ríos.

#### **1.3.2.5 Infiltración.-**

Se produce cuando el agua producto de la precipitación líquida penetra el suelo o las rocas a través de sus poros o fisuras. Dependiendo de la profundidad a la que se infiltre, puede alimentar los acuíferos subterráneos o si permanece en las capas superficiales puede conectarse a un curso de agua.

### **1.3.2.6 Transpiración.-**

Es el proceso mediante el cual las plantas, principalmente aquellas en su etapa de crecimiento, transforman el agua que absorben a través de sus raíces en vapor, y lo liberan hacia la atmósfera contribuyendo con un 10% del total de la humedad. A nivel mundial las tasas de transpiración varían de acuerdo al tipo de planta, a la región, temperatura, humedad relativa y el viento.

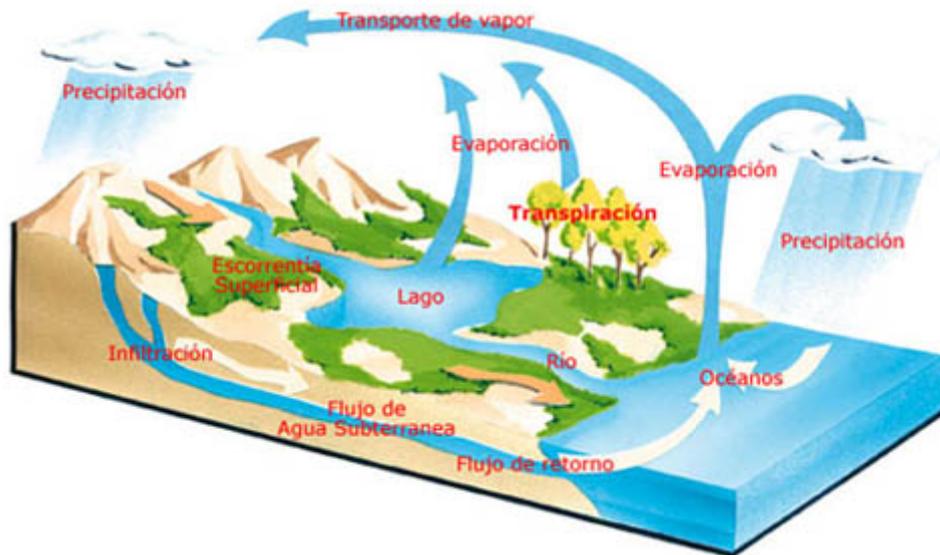
### **1.3.2.7 Evapotranspiración.-**

El agua que por acción de la gravedad llega a la zona no saturada del suelo, puede evaporarse o puede formar parte del agua que ingieren las plantas y contribuir al proceso de transpiración. Al ocurrir estos fenómenos en la zona insaturada del suelo, resultan difíciles de separar, por lo que se utiliza una terminología que englobe ambas expresiones.

### **1.3.2.8 Escorrentía subterránea.-**

El agua subterránea que circula de manera muy lenta, ingresa al ciclo hidrológico a través de la evapotranspiración o puede desembocar en una superficie de agua y cerrar con esto el ciclo hidrológico.

**Ilustración 6.-** Ciclo Hidrológico.



**Fuente:**<http://educasitios.educ.ar/grupo094/?q=node/51>

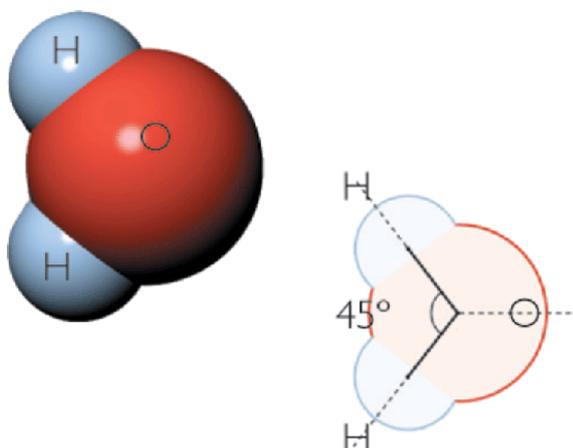
Cualquier acción que el hombre realice y en consecuencia repercute o altere parte del ciclo, afectará el ciclo entero en una determinada región. Es necesario mantener cierto nivel de pureza de las aguas transportadas para garantizar el desarrollo óptimo de este proceso.

#### **1.4 Propiedades físicas y químicas del agua.-**

La molécula de agua se encuentra constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno unidos mediante enlace covalente simple. Debido a la distribución de los electrones en sus tres átomos, la naturaleza de la molécula de agua es bipolar.

Presenta una distribución en el espacio como un tetraedro irregular, con el átomo de oxígeno situado al centro y los dos enlaces con los átomos de hidrógeno dirigidos hacia los vértices del tetraedro.

**Ilustración 7.-** Distribución espacial de una molécula de agua.



**Fuente:**[http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200704/17/tierrayuniverso/20070417klpcnatun\\_83.Ees.SCO.png](http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200704/17/tierrayuniverso/20070417klpcnatun_83.Ees.SCO.png)

Esta disposición espacial permite que cada molécula de agua se pueda unir mediante enlace de hidrógeno –débil y de naturaleza electrostática– a otras cuatro moléculas cercanas, generándose a partir de este hecho una elevada cohesión interna, que es la responsable de la mayoría de sus propiedades.

**Tabla 2.-** Principales propiedades físicas del agua.

Punto de fusión	0 °C
Calor latente de fusión	79 calorías/g
Punto de ebullición	100 °C
Calor latente de evaporación	537 calorías/g
Densidad del agua líquida a 0°C	0.99987 g/cm <sup>3</sup>
Densidad del agua sólida (hielo) a 4°C	0,917 g/cm <sup>3</sup>
Densidad a 4°C	1 g/cm <sup>3</sup>
Calor específico	1 caloría/g °C
Masa molar	18,01528 g/mol

**Fuente:** AUTODIDACTICA OCEANO COLOR, Propiedades Físicas del Agua, 1082.

El calor específico del agua (1 caloría/g °C) estabiliza la temperatura del organismo. La máxima densidad a 4°C permite la existencia de vida marina en los casquetes polares, ya que el hielo flotante actúa como un aislante impidiendo que el resto de la masa líquida se congele.

El agua posee un pH neutral de 7, es decir no es ácida ni básica. Reacciona con los óxidos formando bases y con ciertas sales formando hidratos.

Otra propiedad química importante es la capacidad de disolver gran cantidad de compuestos iónicos, polares y solubilizar otros de carácter lipídico, por lo que se le ha atribuido el nombre de “solvente universal”.

### **1.5 Calidad del agua.-**

La calidad del agua comprende el cumplimiento de determinados parámetros, que dependerán del uso que se le atribuya a la misma. Es así, que en la norma ecuatoriana de calidad ambiental y descarga de efluentes, se contemplan los siguientes usos:

- a) Consumo humano y uso doméstico.
- b) Preservación de flora y fauna en aguas frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.
- c) Aguas subterráneas.
- d) Uso agrícola o de riego.
- e) Uso pecuario.
- f) Fines recreativos.
- g) Transporte.
- h) Uso industrial.

Las principales sustancias que alteran la calidad se pueden clasificar dentro de las siguientes categorías:

- *Físicas.*- contempla la apariencia del agua, temperatura, turbidez y sus características organolépticas como: color, sabor y olor. Estas características están referidas para aguas de uso doméstico.
- *Químicas.*- debido al auge en la utilización de productos químicos, especialmente los pesticidas e insecticidas, se ha contribuido de manera notable a la contaminación por estos productos sintéticos, que por su naturaleza, son difíciles de eliminar y representan una gran preocupación a la hora del cumplimiento de los parámetros.
- *Biológicas.*- su cumplimiento garantiza la salud pública. En el Ecuador el principal problema lo representan las aguas contaminadas por coliformes fecales, generalmente en lugares marginales de la urbe, lo que hace indispensable un rápido control de estas aguas para el consumo humano.
- *Radiológicas.*-hace referencia a aquellas aguas que pudieren haber tenido contacto con sustancias radiactivas.

El cumplimiento de los niveles permisibles descritos en las normas para cada país, determinará si la calidad del agua es alta o baja.

Cabe mencionar que los parámetros permisibles para aguas de uso doméstico y consumo humano son más estrictos, ya que de su cumplimiento dependerá la subsistencia de las poblaciones. En aguas para uso industrial los parámetros varían de acuerdo al proceso en el que se vaya a incluir y la calidad del producto final.

## 1.6 El uso del agua en la industria.-

Una de las principales aplicaciones del agua a nivel mundial es la destinada a la actividad industrial.

**Ilustración 8.-** Central Agoyán, Ambato – Ecuador.



**Fuente:** Las Autoras

De acuerdo con el Libro VI, Anexo I del TULAS –Texto Unificado de Legislación Secundaria– se entiende por uso industrial, el empleo del agua en las siguientes actividades:

- a) Procesos industriales y/o manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexos o complementarios;
- b) Generación de energía y
- c) Minería<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup>*Legislación ambiental: control y prevención de la contaminación*, 1<sup>era</sup> Edición, Corporación de estudios y publicaciones, Quito – Ecuador, 2009, p. 31

Por otra parte, y de manera general, el uso del agua se puede clasificar dentro de cuatro principales actividades que se llevan a cabo en la mayoría de las industrias:

1. *Agua para enfriamiento.*- se utiliza para diferentes procesos: condensadores de plantas de refinamiento de petróleo, plantas químicas; de igual forma para el enfriamiento de maquinaria.
2. *Agua para calderas.*- permite la generación de vapor o energía.
3. *Agua para procesos.*- es aquella que pasa a formar parte de la elaboración del producto, del producto terminado o como medio de transporte de los mismos.
4. *Agua para servicios generales.*- por ser un medio adecuado y económico, se utiliza para la limpieza de instalaciones, maquinaria, materiales, servicios higiénicos, uso del personal y en ocasiones riego de áreas verdes.

Existe una creciente preocupación a nivel mundial en lo que concierne al suministro de agua, pues en las últimas décadas ha existido un auge en su utilización para el desarrollo de actividades industriales. Los mayores consumidores son EEUU con 220,7 km<sup>3</sup> y China con 162 km<sup>3</sup>, mientras que en América Latina son México con 4,3 km<sup>3</sup> y Chile con 3,2 km<sup>3</sup>.

En el Ecuador el 85% del agua es destinada para el riego, el 15% restante se reparte para el uso doméstico e industrial. De acuerdo con datos estadísticos, en el Ecuador la principal industria es la manufacturera, contribuye con el 17% del PIB (Producto Interno Bruto), las principales empresas dedicadas a esta actividad se concentran en la provincia de Pichincha (textil, alimentos, química), seguido por Guayas (plásticos, alimentos) y el Azuay (cuero, cerámica). Cabe mencionar que estas industrias consumen grandes cantidades de agua, en muchos de los casos como materia prima y en otros para la limpieza de maquinaria e insumos.

## CAPÍTULO II

### CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR ACTIVIDAD INDUSTRIAL

#### 2.1 Generalidades.-

“La contaminación del agua es la acción y el efecto de introducir sustancias o incluir condiciones que de modo directo o indirecto impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica”<sup>5</sup>

El agua al ser el elemento indispensable para el desempeño de un sin número de actividades, se ha convertido en un bien público y social, su preservación constituye una necesidad prioritaria.

Uno de los principales usos del agua, es su aplicación en los procesos industriales. La contaminación derivada de este sector es una importante problemática ambiental, pues se trata de aguas altamente contaminadas que pueden contener sustancias tóxicas, que necesitan de un tratamiento específico y especializado, mismo que dependerá de las características propias de cada efluente. La adición de estos contaminantes puede realizarse de manera directa a los cauces, o indirecta a través de la red de alcantarillado público. El ingreso de sustancias altamente tóxicas, trae consigo efectos devastadores al medio ambiente y en consecuencia al ser humano.

#### 2.2 Principales industrias fuentes de contaminación en nuestro medio.-

##### 2.2.1 Industria textil.-

Las materias primas utilizadas en esta industria son: lana, algodón y fibras sintéticas. Estos materiales se disponen en forma de hilos, generando telas, que posteriormente

---

<sup>5</sup>MAMANI Wálter, SUÁREZ Nelly, GARCÍA Claudia, *Contaminación del Agua e Impactos por actividad hidrocarburífera en Aguaragüe*, Editorial Offset Boliviana Ltda., La Paz – Bolivia, 2003, p. 22

serán tinturadas con el fin de mejorar su aspecto, tacto y propiedades; a través de dos procesos: húmedos y en seco. El primero causa los mayores problemas de contaminación por efluentes.

Los principales parámetros de caracterización de los desechos líquidos son: volumen de desechos, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, cromo, fenoles y sulfitos.

**Ilustración 9.-** Carga residual de una industria textil.



**Fuente:** MALDONADO, Nathaly y MOLINA Renato, Estudio para la reducción de colorantes de las aguas residuales de la industria textil a través de procesos electroquímicos, 2010.

### **2.2.2 Industria Química.-**

Se caracteriza por una gran diversidad de productos y procesos, que en consecuencia generan grandes cantidades de contaminantes al agua, suelo y atmósfera.

Un grave problema al momento de dar un tratamiento a los residuos sólidos, líquidos y gaseosos, se debe a que esta industria se encuentra en constante evolución, pues periódicamente se descubren nuevas materias primas y nuevos procesos.

### **2.2.3 Industria de Alimentos.-**

Entre las principales tenemos a la elaboración de productos lácteos y al procesamiento de frutas y vegetales, en las cuales el 94% de los desechos líquidos se originan en los procesos de producción (transferencia de calor, suma de aditivos, etc.). El 6% restante son desechos de limpieza de equipos e instalaciones.

Los parámetros de impacto ambiental a considerar son: demanda bioquímica de oxígeno, sólidos en suspensión y pH. La descarga sin previo tratamiento de estos efluentes a una fuente natural de agua, ocasiona un deterioro de la calidad de los recursos hídricos.

### **2.2.4 Actividad Minera.-**

Se realiza con la finalidad de obtener sustancias del subsuelo que posean contenido mineral rentable, ésta actividad hace referencia a los procesos de prospección, exploración, explotación y concentración de los minerales.

Cada una de las actividades mineras antes mencionadas se pueden realizar por procesos formales, aquellos que se rigen por leyes que amparan sus actividades, o mediante procesos informales, se encuentran al margen de las leyes y bajo la aplicación de técnicas consideradas como artesanales. Cabe mencionar que la mayoría de la industria minera en el Ecuador pertenece al segundo grupo.

La contaminación de las aguas es esencialmente química, pues se emplean reactivos potencialmente tóxicos, que incluyen mercurio, metales pesados, cianuros, sulfuros complejos, sulfatos de cobre, zinc y otros; que mediante la acción bacteriana pueden ser transformados en compuestos aún más tóxicos.

**Ilustración 10.-**Contaminación de fuentes hídricas en Zhumiral – Cantón Ponce Enríquez.



**Fuente:**MARÍN, Marisol y otros, Análisis comparativo in vitro de la actividad biodegradadora de bacterias del género *pseudomonas sp.* y microorganismos nativos para su uso en un proceso de biorremediación in situ de sales de cianuro, 2009.

### **2.2.5 Explotación petrolera.-**

Los principales contaminantes de esta actividad son los hidrocarburos aromáticos policíclicos, compuestos tóxicos cuyos efectos a largo plazo afectan a todo el ecosistema. En el agua provocan un impacto representativo, puesto que se esparcen rápidamente por la diferencia de densidades entre ambos líquidos, dificultando las posibilidades de limpieza.

El Ecuador al ser un país rico en hidrocarburos, se encuentra en gran riesgo de contaminación, especialmente la región Amazónica, pues debido a los constantes escapes de crudo del oleoducto, se ha puesto en riesgo la supervivencia de muchas especies sensibles, dejándolas en peligro de extinción.

Otro efecto importante, es la contaminación de fuentes hídricas que proveen a los pueblos indígenas, generando numerosos casos de cáncer, diarrea en los niños y aparición de hongos en la piel.

**Ilustración 11.-** Piscinas de crudo en la Amazonía Ecuatoriana, caso Chevron – Texaco.



**Fuente:**[http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101168103/1/Ecuador\\_pide\\_al\\_Tribunal\\_la\\_interpretaci%C3%B3n\\_de\\_tratado.html](http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101168103/1/Ecuador_pide_al_Tribunal_la_interpretaci%C3%B3n_de_tratado.html)

## **2.3 Principales contaminantes.-**

### **2.3.1 Sustancias químicas inorgánicas.-**

Incluye ácidos, sales y metales pesados, que en determinadas concentraciones afectan a los organismos vivos.

### **2.3.2 Contaminación térmica.-**

Generados en su mayoría por centrales térmicas, sistemas de refrigeración, industrias papeleras, etc. Estas actividades industriales elevan la temperatura del agua, disminuyendo el oxígeno presente, afectando a los organismos que en ella se encuentran.

### **2.3.3 Compuestos orgánicos.-**

Provenientes de aceites y grasas de procesos industriales, explotación petrolera, etc., que en definitiva son difíciles de metabolizar por las bacterias y consecuentemente forman una película en la superficie del agua, deteriorando la vida acuática.

#### **2.3.4 Nutrientes vegetales inorgánicos.-**

Corresponden a nitratos y fosfatos, aportados al agua generalmente por industrias dedicadas a la producción de pesticidas, provocan la muerte de los cuerpos de agua por eutrofización.

#### **2.3.5 Sustancias radiactivas.-**

Las aguas naturalmente contienen isotopos de potasio, lo cual produce cierta radiactividad, sin embargo desechos industriales aumentan estos niveles y se acumulan a través de las cadenas tróficas en concentraciones altas que afectan a los seres vivos.

#### **2.3.6 Materia suspendida.-**

Por actividades industriales como la minería, son depositados en cuerpos de agua grandes cantidades de sedimentos, en tamaños muy variables: que van desde limo hasta la arenisca muy fina; generando un aumento en la turbidez del agua y sus respectivos efectos.

#### **2.4 Efectos de la contaminación industrial.-**

Entre los impactos más significativos encontramos:

- Toxicidad, que invalida el suministro de agua, pues su consumo puede producir afecciones al sistema nervioso, teratogénesis, mutagénesis, cáncer e incluso la muerte cuando el consumo se ha realizado en altas dosis.
- Formación de compuestos peligrosos al reaccionar con sustancias disueltas en el agua.

- Altas concentraciones de sales que afectan a la flora y fauna.
- Acumulación de sustancias radiactivas a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando altas concentraciones y depositándose en tejidos vivos.
- Eutrofización del agua, especialmente por adición de fosfatos provenientes de detergentes, y la presencia de compuestos nitrogenados; disminuyen el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad microbiana e interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.
- Formación de una película superficial que impide la aeración, principalmente en sustancias no miscibles, como los hidrocarburos, aceites y lubricantes.
- Aumento de la turbidez del agua, debido a la presencia de material suspendido, disminuye la fotosíntesis de las plantas y la capacidad de ciertos organismos para encontrar el alimento.
- Por el aumento de la temperatura, se generan modificaciones de carácter físico – químico del agua, disminución del oxígeno, aceleración del metabolismo de especies vegetales y animales, y en consecuencia deterioro de los ecosistemas marinos.
- Alteración del pH natural de las aguas, provocando una acidez desmesurada que influirá en los procesos químicos propios del agua.
- Disminución del oxígeno presente en el agua y por consiguiente la incapacidad de mantener determinadas formas de vida.

## CAPÍTULO III

### LA INDUSTRIA DEL GALVANIZADO

#### 3.1 Generalidades.-

El galvanizado consiste en la electrodeposición de una capa de zinc sobre un metal, generalmente el acero, o sobre aleaciones. “Se denomina galvanización pues este proceso se desarrolló a partir del trabajo de Luigi Galvani<sup>6</sup>”

El uso extensivo de la galvanización radica en la doble naturaleza del recubrimiento: como película de barrera, ofrece una resistente protección impermeable que reviste completamente la superficie del acero y lo sella formando una capapara protegerlo de la acción corrosiva del ambiente; y debido a las características electroquímicas del zinc, éste actúa como un ánodo protegiendo al metal aún en donde el recubrimiento este dañado o tenga pequeñas discontinuidades.

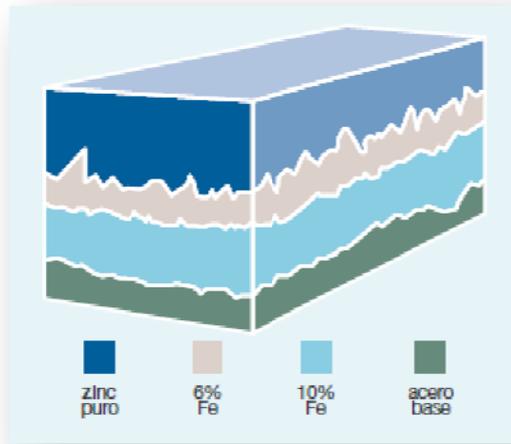
El acero tratado con galvanización presenta tres capas en cualquiera de sus secciones:

1. Acero o hierro base.
2. Aleación hierro – zinc.
3. Capa de zinc puro.

---

<sup>6</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Galvanizado>

**Ilustración 12.**-Esquema de la sección transversal de un recubrimiento de galvanizado típico.



**Fuente:** [http://www.ateg.es/publicaciones/publicacion\\_sostenible.pdf](http://www.ateg.es/publicaciones/publicacion_sostenible.pdf)

En el proceso generalmente el metal que constituye el depósito o película, se diluye de un ánodo del material sumergido en un electrolito que contenga iones del metal, los cuales se depositan en el objeto que se desea recubrir, y actúa como cátodo.

Los principales impactos ambientales generados por este tipo de industrias son el excesivo consumo de agua en los diferentes procesos y en consecuencia los efluentes descargados a las redes de alcantarillado público, mismos que contienen compuestos químicos de elevada toxicidad que producen graves daños al ecosistema y a los seres humanos.

En nuestra ciudad existe una sola empresa afiliada a la Cámara de Industrias, “TUGALT” del Grupo Peña, ubicada en el parque industrial y dedicada al galvanizado de tubos. Por otra parte, dos empresas se encuentran asociadas a la cámara de la pequeña industria del Azuay –CAPIA–, “Galvanizadora del Austro” ubicada en la Teodoro Wolf (Vía Baños) y “Galvánica” entre las calles Bulan y Hurtado de Mendoza. Cabe señalar que la mayoría de talleres que desempeñan sus funciones en la ciudad, son artesanales y por lo tanto no existe un registro detallado.

### 3.2 Principios generales.-

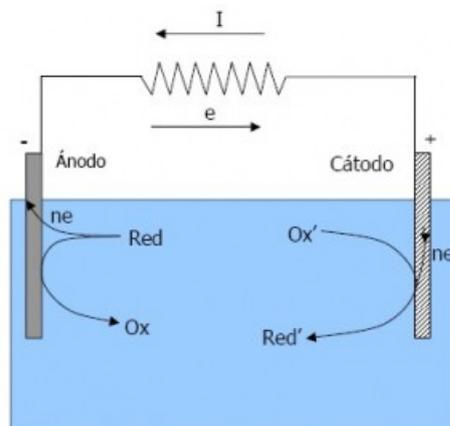
En el galvanizado por inmersión caliente el zinc fundido reacciona químicamente con la superficie de una pieza, produciendo capas de Zn – Fe de composición y espesor variable en la interfase. El recubrimiento se une metalúrgicamente al metal base.

La temperatura a la que se trabaja este tipo de galvanizado es muy elevada, siendo al comienzo la velocidad de reacción muy rápida. El espesor principal del recubrimiento se forma durante este periodo inicial. Posteriormente, la reacción se ralentiza y el espesor del recubrimiento no aumenta en gran medida.

La galvanización, vista como un proceso de recubrimiento electrolítico, esta basada en la electroquímica, proceso que consiste en el estudio de la interconversión de energía eléctrica y química; se dedica al análisis de procesos y factores que afectan al transporte de carga a través de la interfase formada entre un electrodo y una disolución en contacto con él. En otras palabras es el uso de una corriente eléctrica para generar un cambio químico, conocido como electrólisis.

Las reacciones que se producen son del tipo oxidación – reducción, que tienen lugar en una celda galvánica que consta de dos electrodos, uno de carga negativa denominado cátodo, en donde se lleva a cabo la reducción o ganancia de electrones y otro de carga positiva llamado ánodo, en donde se realiza la oxidación o pérdida de electrones.

**Ilustración 13.-** Celda Galvánica.



**Fuente:** <http://quimica.laguia2000.com/general/celdas-electroquimicas>

Los ánodos y cátodos se encuentran sumergidos en soluciones, unidos mediante un puente salino y conectados por un voltímetro que permite el paso de electrones.

A nivel industrial se utilizan cubas galvánicas, que deberán construirse de acuerdo al tamaño y cantidad de piezas que se vayan a tratar. La mayoría de estos sistemas se realizan suspendiendo el artículo a recubrir en una barra catódica distribuidora de corriente, o colocando numerosos objetos pequeños en un tambor metálico giratorio perforado, el mismo que actúa como cátodo, en ambos casos las piezas son sumergidas en la solución galvánica.

**Ilustración 14.-** Cuba Galvánica con tambor giratorio.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

La potencia eléctrica suministrada a las cubas, proviene de rectificadores conectados a una red trifásica de corriente alterna, y dando como máximo 10 000 A de corriente continua a 100 V al sistema de barras de distribución que van a la cuba.

**Ilustración 15.-** Rectificador.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

### **3.3 Finalidades del galvanizado.-**

La función principal de este proceso es la de cambiar y consecuentemente mejorar las características superficiales de un material, en proporción con su resistencia a la corrosión.

El campo de aplicación es muy extenso, se utiliza en una gran variedad de productos, tales como tuberías de agua, chapas de carrocería, tubos de escape, asa y mango de ollas, acero estructural utilizado en obras públicas y viales, torres de transmisión y comunicaciones, etc.

**Ilustración 16.-** Asa redonda galvanizada.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

Las ventajas que presenta la aplicación de los revestimientos galvánicos son:

- Un alargamiento en la vida útil de los artículos tratados, pudiendo llegar a variar entre los 20 a 30 años, dependiendo del nivel de exposición.
- Existe un alto grado de garantía referido al recubrimiento de toda la pieza, tanto por dentro como por fuera.
- Una vez que se ha efectuado el recubrimiento al metal, no es necesario realizar ningún tipo de mantenimiento.
- Permite la utilización de materiales relativamente baratos para la fabricación de artículos, que posteriormente podrán ser revestidos con varias capas zinc para mejorar su aspecto y aumentar la resistencia al daño.

La vida protectora de un artículo galvanizado dependerá del espesor, las condiciones y grado de exposición, que contenga.

**Tabla 3.-** Protección por años según espesor de zinc y tipo de atmósfera.

TIPOS DE ATMÓSFERA	ESPESOR DE ZINC EN MICRONES											
	10	20	33	43	53	66	76	86	96	106	119	129
	AÑOS DE PROTECCIÓN HASTA 5% DE OXIDACIÓN DE LA SUPERFICIE											
Rural	7	12	19	25	31	38	43	50	57	62	68	74
Marino tropical	5	10	15	20	24	29	33	39	43	48	53	58
Marino templado	4	9	13	17	21	26	30	35	39	43	48	51
Suburbano	3	6	10	14	18	21	24	29	32	36	40	42
Moderadamente industrial	2	4	8	11	14	18	21	24	28	31	34	38
Industrial pesado	1	2	4	7	9	11	13	15	15	19	21	22

**Fuente:** <http://www.gbi->

[fijaciones.cl/catalogo/tornillos/Definiciones%20y%20descripci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20Galvanizado.htm](http://www.gbi-fijaciones.cl/catalogo/tornillos/Definiciones%20y%20descripci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20Galvanizado.htm)

Es importante evitar la corrosión galvánica, fenómeno que se caracteriza por su poder destructivo, ésta resulta de un proceso de electrólisis entre dos metales de potencial eléctrico diferente que se hallan en contacto y en presencia de humedad, motivo por el cual se deberá impedir entre otras cosas, el contacto de materiales opuestos con distinto potencial de oxidación.

**Ilustración 17.-** Corrosión Galvánica



**Fuente:** <http://todoproduktividad.blogspot.com/2011/09/entendiendo-en-detalle-la-corrosion-y.html>

### **3.4 Descripción del proceso.-**

El proceso de galvanizado consta de tres operaciones básicas: preparación de la superficie, galvanizado e inspección.

#### **3.4.1 Preparación de la superficie.-**

Esta etapa es la más importante dentro de todo el tratamiento, puesto que de ella dependerá la apropiada fijación de la capa de zinc sobre el acero. Consta de:

##### **a) Desengrase.-**

Tiene la finalidad de eliminar la grasa, el aceite, la suciedad, las lacas, pinturas y cualquier impureza de las superficies.

Se pueden utilizar para este fin, baños ácidos de naturaleza poliprótica como el ácido clorhídrico, a más de solubilizantes, agentes anticorrosivos y tensoactivos. Se trabaja a temperatura ambiente, entre unos 20 y 40° C.

De igual manera, existen los desengrasantes alcalinos, que son preferidos por su menor costo y mayor eficacia. La composición básica de estos baños es el hidróxido de sodio, complementado con agentes tensoactivos, emulsionantes y otras sustancias de propiedades alcalinas como carbonato sódico, fosfatos alcalinos, etc.

Posterior a la etapa de desengrase ya sea ácido o alcalino, las piezas se someterán a un enjuague de agua caliente, a una temperatura que oscila entre los 80 a 90°C, con el objetivo de evitar el arrastre de las soluciones del desengrase a la siguiente etapa.

##### **b) Decapado.-**

Este proceso permite la eliminación de escamas, manchas, películas de óxidos superficiales, sulfuros, etc., a través de la aplicación de un baño químico; permitiendo de esta manera una apropiada adherencia entre metal y el zinc durante el recubrimiento.

El ataque de estas soluciones produce oxígeno y en consecuencia el desprendimiento de la capa de óxido. El ácido clorhídrico es un decapante rápido a temperatura ambiente, mientras que el ácido sulfúrico es más versátil, pues se utiliza a mayores temperaturas y es más económico, convirtiéndose estas dos soluciones en las más utilizadas para este fin.

Cuando el poder decapante del baño se agota, el contenido se elimina por vertido y se vuelve a recargar.

Es indispensable la adición de un aditivo que contenga un inhibidor para que el ácido no disuelva el acero, solamente los óxidos, además de que evite la emanación de neblina ácida e idealmente ayude en la limpieza adicional del metal.

Una vez terminado este proceso, los artículos son sometidos a un lavado con agua fría, en donde se produce la disolución completa del ácido y las sales de óxido de hierro, evitando el arrastre y la consecuente contaminación en las etapas posteriores.

### **c) Fluxado.-**

También conocido como baño de sales, es la etapa final de preparación de las superficies. Las piezas son sumergidas en una solución de flux (generalmente de zinc y amonio) que elimina los óxidos leves formados luego de su paso por el decapado y el lavado, también protege de las posibles oxidaciones que pudieran presentarse en las piezas y favorece la formación de la aleación hierro – zinc.

Posterior a este baño, las piezas deben secarse con aire caliente o precalentarse antes de ingresar al baño de zinc, para evitar que las evaporaciones bruscas produzcan explosiones.

Cabe mencionar que los contaminantes presentados en esta etapa, influirán directamente en la calidad del galvanizado, en las pérdidas de zinc y en la generación de subproductos como cenizas y humos.

### **3.4.2 Galvanizado.-**

Consiste en la inmersión de las piezas a galvanizar en un baño de zinc fundido que suele estar a una temperatura que oscila entre los 445° C y los 460° C. El zinc reacciona con el hierro, o el acero, formando capas de aleación sobre la superficie.

De manera similar se puede emplear un baño de zinc electrolítico, cuyos componentes básicos son:

#### **a) Baño electrolítico.-**

Pueden ser baños de naturaleza ácida, alcalina o alcalina – cianurada, su función principal es la de actuar como conductor iónico. Consta de los siguientes elementos:

- La sal o ácido que contenga el ión o radical metálico (zinc). Si no se trata de una sal bastante conductora, se añadirá otra para aumentar la conductibilidad del baño o una materia que impida la corrosión anódica e impida su pasividad.
- Sustancias llamadas agentes de adición empleadas en pequeñas cantidades, como abrillantadores.
- Una solución que ayude a preservar el pH adecuado en el baño.

La composición de los baños varía entre límites muy amplios, en la mayoría de los casos están determinadas por recetas preestablecidas, como es el caso del baño de cianuro alcalino; mientras que la concentración estará de acuerdo con el tamaño de la cuba y en consecuencia con la cantidad de producto a zincar.

**Tabla 4.-** Composición de un baño alcalino cianurado.

COMPONENTES	CONCENTRACIÓN INICIAL (p/v)	PORCENTAJE	CANTIDAD REQUERIDA PARA 1020 LITROS
Cianuro de Sodio (CNNa)	26 gr/lt	33.33 %	57120 gr/lt = 57.12 kg
Oxido de Zinc (ZNO)	32 gr/lt.	19.04 %	32640 gr/lt = 32.64 Kg
Hidróxido de Sodio (NaOH)	80 gr/lt	47.6 %	81600 gr/lt = 81.60 Kg
Brillo Químico	2 ml/lt		2 litros

**Fuente:** TECNOPRODUCCION, *Informe técnico para el proceso de galvanizado*, 2011.

El baño deberá tener un proceso de mantenimiento continuo o periódico para conservar las condiciones iniciales, que dependerán del grado de modificación y trabajo. La cantidad necesaria de componentes para su mantenimiento se conoce mediante un análisis químico constante.

#### **b) Cátodo.-**

Lo constituyen las piezas a ser recubiertas. Cuando se trata de artículos pequeños, son depositados en un tambor metálico perforado que gira dentro del baño electrolítico; por el contrario si se realiza el galvanizado de piezas grandes, éstas se suspenden en la barra distribuidora de corriente.

**Ilustración 18.-** Tambor giratorio.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

**Ilustración 19.-**Suspensión de labarra catódica.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

**c) Ánodo.-**

Se utilizan placas de zinc con 99.99% de pureza, libres de plomo y hierro, que posean un espesor mínimo de 3mm. Su función es la de mantener constante la concentración de los iones metálicos en el electrolito, puesto que cuando un ion entrega su átomo de metal en el cátodo, inmediatamente otro lo reemplaza desprendiéndose del ánodo y viajando hacia el cátodo. Por esta razón la principal materia prima que se consume en un proceso de galvanizado es el ánodo.

**Ilustración 20.-** Ánodo de zinc.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

#### **d) Fuente de corriente continua.-**

“Es un transformador que baja el voltaje de 380 V, 220 V ó 110 V a tensiones menores (de 0,1 a 12 V). Además, estos equipos poseen semiconductores [...] que transforman la corriente alterna en corriente continua [...]. Esta fuente debe tener en lo posible un sistema de regulación de voltaje, puesto que cada proceso tiene un rango de tensión en el que el resultado es óptimo<sup>7</sup>”

Una vez extraída la pieza del baño se procede a un enfriamiento, por inmersión en una cuba de agua, o de manera lenta a temperatura ambiente.

**Ilustración 21.-** Secado de piezas a temperatura ambiente.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

#### **3.4.3 Inspección.-**

En esta etapa se verifica el espesor del recubrimiento, que tiene relación directa con el tiempo de permanencia de las piezas en el baño de zincar, haciendo alusión al medio en que se desarrollará el producto final; es decir, a mayor agresividad del medio se

---

<sup>7</sup><http://es.wikipedia.org/wiki/Galvanizado>

requerirá mayor espesor, o lo que es lo mismo, ante unas determinadas condiciones que exijan mayor durabilidad del acero, mayor será el espesor del recubrimiento.

**Tabla 5.-** Pérdida de espesor de zinc en diferentes ambientes de acuerdo con la norma ISO 9223. Corrosión de metales y aleaciones.

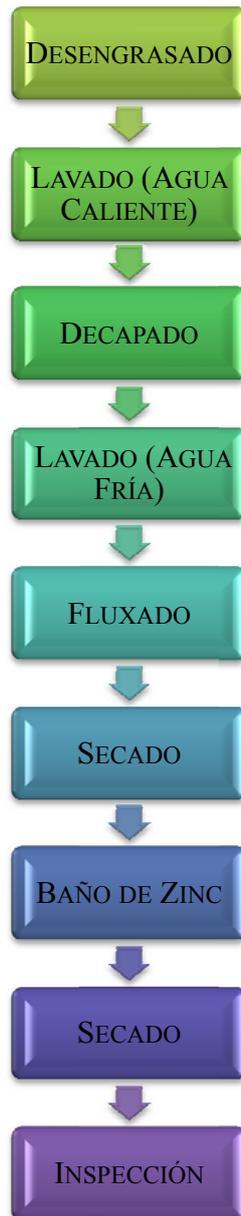
AMBIENTES SEGÚN GRADO DE CORROSIVIDAD	RIESGO DE CORROSIÓN	PÉRDIDA MEDIA DE ESPESOR ( $\mu$ /año)
C1 Interior seco	Muy bajo	$\geq 0,1$
C2 Interior con riesgo de condensación ocasional	Bajo	0,1 a 0,7
C3 Interior con humedad elevada y alguna contaminación del aire.  Exterior industrial o urbano del interior o de costa de baja salinidad	Medio	0,7 a 2,0
C4 Interior de piscinas, plantas químicas, etc. Exterior industrial del interior o urbano costero	Elevado	2,0 a 4,0
C5 Exterior industrial con humedad elevada o costero de alta salinidad	Muy elevado	4,0 a 8,0

**Fuente:**ROBERTO VERA SORIANO, *Temas de Construcción 1*.

Una vez finalizada la fase de inspección, se puede someter a los artículos de metal o acero a procesos como el anodizado, pavonado, etc., para lograr mejores acabados, como la coloración de piezas.

A continuación se presentan las fases operativas de un proceso típico de galvanizado en inmersión caliente:

**Ilustración 22.-** Diagrama de flujo de un proceso de Galvanizado.



**Fuente:** Las Autoras.

### **3.5 Otros procesos de recubrimiento galvánico.-**

#### **3.5.1 Metalización con Zinc.-**

En este procedimiento las placas de acero deben ser limpiadas mediante chorreo abrasivo (chorro de arena) y posteriormente rociadas con zinc en forma de alambre o polvo, mediante una pistola que se proyecta sobre la superficie del sustrato con ayuda de un gas pulverizador.

El espesor de la película se puede controlar con facilidad y la uniformidad depende mucho de la habilidad del operario y de la geometría de la pieza, como los recubrimientos tienen cierta porosidad, se recomienda aplicar barnices sellantes posterior a este tratamiento.

#### **3.5.2 Sherardizado.-**

Es un proceso de difusión de fase sólida. Las piezas pequeñas de hierro o acero se calientan con una mezcla de polvo de zinc y arena en tambores rotatorios a temperatura por debajo del punto de fusión del zinc (380° C – 400° C).

En estas condiciones se forman capas de aleaciones zinc – hierro muy uniformes sobre la superficie del acero con espesores variables que dependen de la temperatura y de la duración del tratamiento. Este procedimiento es menos difundido que el galvanizado por inmersión en caliente, sin embargo aporta al revestimiento propiedades útiles como dureza y resistencia al desgaste.

#### **3.5.3 Pinturas ricas en zinc.-**

Las superficies de acero limpias, son recubiertas con pinturas de elevado contenido de zinc metálico, que confieren una protección catódica. Estas pinturas pueden aplicarse con brocha, rodillo o pistola sobre la superficie del acero.

Una de las aplicaciones más comunes de este tipo de galvanizado es la restauración de zonas dañadas del recubrimiento por inmersión caliente de las piezas, que pueden generarse por soldaduras.

### **3.6 Potenciales impactos ambientales de esta industria.-**

#### **3.6.1 Emisiones.-**

Como contaminantes atmosféricos se presentan gases, vapores y humos generados principalmente en los procesos de desengrase, decapado y baño de zinc; en donde la naturaleza de las emisiones dependerá de los compuestos químicos utilizados en el ciclo productivo.

En la etapa de decapado por ejemplo, cuando se trabaja con ácido nítrico, por la naturaleza oxidante del ácido y como la reacción ocurre en la superficie de los metales oxidados, se generan vapores nitrosos y nítricos. Por el contrario si se emplea ácido clorhídrico, las emisiones que se producen son a temperatura ambiente debido a la elevada presión del químico.

**Ilustración 23.-** Ácido clorhídrico empleado en proceso de decapado.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

En los baños de zinc, las emisiones se generan al momento de calentar la cuba para lograr las temperaturas adecuadas de trabajo, a más de las partículas no – peligrosas que se forman durante la inmersión de las piezas. Por otra parte, en el desengrasado, se producen vapores tóxicos de solventes volátiles.

Desde el punto de vista ambiental, por la cantidad de emisiones generadas, este tipo de contaminación no es significativa, sin embargo considerando la salud ocupacional existe un efecto importante dentro de la empresa, siendo necesaria la implementación de aspiradores y filtros para garantizar la salud de los obreros.

### **3.6.2 Contaminación del agua.-**

En la industria de galvanizado la composición química de los efluentes no es compleja, el problema se suscita al momento que se juntan en el sistema de recolección todos los desechos de cada proceso. Existen dos tipos de efluentes: aquellos que no son tóxicos y corresponden a soluciones ácidas o alcalinas. El otro tipo pertenece a residuos tóxicos como los desechos cianurados, ambos al ser desechados al sistema de alcantarillado sin previo tratamiento afectan gravemente a los cuerpos receptores.

**Ilustración 24.-**Canales que llevan los efluentes hacia el sistema de alcantarillado público.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

Los efluentes proceden principalmente de las siguientes fuentes:

- Aguas de enjuague.
- Mantenimiento de los baños.
- Pérdidas accidentales.

**Ilustración 25.-** Pérdida accidental ocasionada en uno de los enjuagues del proceso.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

En los baños de zinc las sales dobles son los principales contaminantes, sumado a esto los efluentes pueden contener cianuros, carbonatos y productos aditivos como colorantes, complejos orgánicos, etc., dependiendo de la composición del baño.

A continuación se presentan los principales efectos de los contaminantes en las aguas de receptores públicos:

**Tabla 6.-** Efectos de los contaminantes sobre instalaciones de alcantarillado.

PARÁMETRO	EFECTO
<b>pH</b>	Daño a los colectores, por exceso de acidez o alcalinidad. Inhibición del crecimiento microbiano en los sistemas de tratamiento biológico de las aguas servidas.
<b>Temperatura</b>	Aumento de las velocidades de reacciones químicas y bioquímicas, ocasionado por un aumento de temperatura. Volatilización de compuestos orgánicos presentes en los residuos líquidos, con gasificación y producción de emanaciones tóxicas y mal olor. La presencia de gases aumenta la presión de las tuberías
<b>Sólidos suspendidos</b>	Se produce acumulación de sedimentos al interior de las tuberías, produciendo efectos de obstrucción de escurrimiento de fluidos.
<b>Aceites y grasas</b>	Se produce acumulación y se dificulta el escurrimiento de fluidos. Además, disminuye la transferencia de oxígeno en el cuerpo receptor.
<b>Sulfatos</b>	Se produce la precipitación de sales insolubles que atacan las tuberías de cemento.
<b>Metales pesados y tóxicos</b>	Interfieren en los procesos biológicos de tratamiento de aguas servidas, inhibiendo el crecimiento microbiano.
<b>Detergentes</b>	Interfieren en los procesos biológicos de tratamiento de aguas servidas, inhibiendo el desarrollo microbiano.

**Fuente:** <http://www.minambiente.gov.co/documentos/galvanot%C3%A9cnia.pdf>

En conclusión y tomando en cuenta el nivel de toxicidad, podemos anotar que las aguas cianuradas son las de mayor peligrosidad, ya que pueden descomponerse en el estómago del hombre y animales generando ácido cianhídrico, pudiendo llevar incluso a la muerte. En la norma ecuatoriana de calidad ambiental, el nivel de cianuro total para aguas de consumo humano y doméstico es de 0,1 mg/l, mientras que para aguas de descarga en el sistema de alcantarillado público corresponde a 1,0 mg/l.

### 3.6.3 Residuos sólidos.-

Como se menciona anteriormente, los residuos líquidos provenientes de este sector productivo contienen metales pesados, sales de cianuro, entre otros contaminantes

peligrosos, que en consecuencia generan los desechos sólidos constituidos principalmente por lodos de análoga composición, provocando los mismos efectos que su similar, siendo necesaria una cuidadosa disposición final. Es así pues, que estos residuos se producen en los procesos de desengrase, decapado, enjuague y baño de zinc.

En menor proporción los contaminantes sólidos de esta industria provienen del empaquetado del producto final.

Asimismo una vez finalizada la vida útil del metal galvanizado, pasa a formar parte de los desechos sólidos, que de acuerdo con las condiciones del material, podrán ser nuevamente galvanizados o de lo contrario deberán ser tratados como chatarra para procurar un menor impacto al medio ambiente.

#### **3.6.4 Alteraciones de la flora y fauna.-**

Los principales efectos de este tipo de industria son:

- Lesiones en las plantas, similares a las de las heladas.
- Anomalías en el crecimiento vegetal, si la contaminación es permanente.
- Los iones metálicos de zinc impiden la oxidación biológica, limitando la acción enzimática para oxidar la materia orgánica.
- Eutrofización de cuerpos de agua, por la elevada demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).
- Formación de ácido cianhídrico en los mamíferos por descomposición de compuestos del cianuro.

### **3.6.5 Toxicología con relación a los seres humanos.-**

Los efectos presentados en el personal que manipula las sustancias químicas empleadas en los distintos procesos productivos, pueden variar de acuerdo al tiempo de exposición y la cantidad de químico inhalado. La sintomatología por intoxicación generalmente presenta:

- Por inhalación de compuestos de cianuro: vértigos, ahogos, aumento del pulso, trastornos gastrointestinales, convulsiones, muerte.
- Ácido clorhídrico y sulfhídrico: fuertes irritaciones en la piel y mucosas, quemaduras dérmicas, necrosis corneal, perforación del tabique nasal, erosión dental, edemas laríngeos o pulmonares.
- Carbonato de sodio y detergentes: empleados en la etapa de desengrasado, podrían producir irritaciones dérmicas, alergias, trastornos teratogénicos.

Para evitar este tipo de complicaciones, es necesaria una adecuada ventilación en el ambiente de trabajo, señalización en todas las áreas de riesgo, y sobretodo trabajar con el equipo necesario de seguridad industrial, tales como mascarillas con filtro químico, guantes de goma, etc.

**Ilustración 26.-** Equipo mínimo necesario de trabajo.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

Se debe neutralizar de forma inmediata los derrames de soluciones de cianuro suscitadas en el ambiente de trabajo, utilizando hipoclorito y/o peróxido de hidrógeno, así también para la limpieza se utilizará agua alcalina.

Otra medida a considerar, es el almacenamiento del cianuro, el cual debe realizarse en su envase bien cerrado y aislado del aire, dentro de una bodega seca y bien ventilada, además se debe evitar el contacto del cianuro con ácidos o sales ácidas, ya que puede generar ácido cianhídrico gaseoso, que presenta alta toxicidad.

Para el abandono de residuos de cianuro se procederá a su encapsulado y recubrimiento. Se depositarán los residuos del proceso de cianuración en áreas impermeabilizadas con geosintéticos para prevenir la contaminación de los acuíferos.

## CAPÍTULO IV

### CIANURO

#### 4.1 Generalidades.-

El cianuro se considera como un compuesto muy tóxico, se une con gran facilidad a elementos como el hierro y otros metales.

Existen más de 2000 fuentes de cianuro, entre las que podemos mencionar a distintas especies vegetales y animales. El cianuro fue un compuesto muy importante para la formación de las primeras criaturas vivientes en la tierra, debido a que se creó durante las primeras etapas de la evolución química a partir del amoníaco, monóxido de carbono, metano y dinitrógeno.

El hombre hoy en día ha logrado producir el cianuro de hidrógeno (HCN) gaseoso, las sales simples de cianuro, el cianuro sólido de sodio y potasio, “la producción anual mundial es de 3.000.000 de toneladas y se utiliza para la elaboración de una amplia gama de artículos de consumo e industriales. Solamente el 8% del cianuro hidrogenado se convierte en cianuro de sodio para su utilización en el procesamiento de metales”.<sup>8</sup>

Debido a sus características únicas, el cianuro es empleado para la fabricación de partes metálicas, extracción de metales preciosos como el oro, productos plásticos, telas sintéticas, herbicidas, fertilizantes, productos farmacéuticos, tintes y otros.

En la actualidad muchos de los cianuros que se encuentran presentes en el suelo o el agua provienen de procesos industriales. Las fuentes principales de cianuro en el agua provienen de las descargas de sustancias químicas orgánicas, del excavado de minerales o de la manufactura de hierro o acero, como la industria galvánica, entre otras actividades.

---

<sup>8</sup><http://www.cmsalta.com.ar/Download/Otros/CIANUROA4.pdf>

También es importante mencionar fuentes de cianuro antrópicas como: los tubos de escape de los vehículos, la incineración de residuos sólidos urbanos y el uso de plaguicidas.

#### **4.2 Estructura y características Físico - Químicas.-**

El ión cianuro incluye a todos los grupos  $\text{CN}^-$ , es un anión monovalente de origen natural, que consiste en un átomo de carbono conectado a uno de nitrógeno mediante tres enlaces ( $\text{C}\equiv\text{N}$ ). Los cianuros se clasifican en simples y complejos. Forma parte de moléculas de gas: cianuro de hidrógeno ( $\text{HCN}$ ) y de sales: cianuro de sodio ( $\text{NaCN}$ ) y de potasio ( $\text{KCN}$ ), que se son las más utilizadas en la industria metalúrgica y minera.

#### **4.3 Tipología.**

Existen varios tipos de compuestos del cianuro: el cianuro de hidrógeno que es un gas sumamente peligroso y las sales simples como: cianuro de sodio ( $\text{NaCN}$ ) y de potasio ( $\text{KCN}$ ), que son las formas de cianuro con mayor probabilidad de formación o pueden ser el resultado de las actividades industriales.

##### **4.3.1 Cianuro de hidrógeno.-**

El cianuro de hidrógeno es un compuesto químico cuya fórmula es  $\text{HCN}$ . La disolución de cianuro de hidrógeno en agua es llamada ácido cianhídrico. El cianuro de hidrógeno puro es un líquido incoloro, muy venenoso y altamente volátil, que hierve a  $26\text{ }^\circ\text{C}$ , tiene un ligero olor a almendras amargas, que es detectado por ciertas personas debido a un rasgo genético. El cianuro de hidrógeno es ligeramente ácido, este compuesto es utilizado para la galvanoplastia.

Las frutas que poseen una semilla grande, como el aguacate o albaricoque, generalmente contienen pequeñas cantidades de cianuro de hidrógeno. De manera similar, las almendras amargas también lo poseen.

Algunos milpiés lo usan como medio de defensa. También se le puede encontrar en el humo del tabaco y en el humo de la combustión de plásticos que contienen nitrógeno. El ácido cianhídrico (HCN) es el predecesor del cianuro de sodio y de potasio.

#### **4.3.2 Cianuro de sodio.-**

Es un sólido blanco con un leve olor amargo a almendras; es la sal sódica del ácido cianhídrico. Se vende comercialmente en pastillas en forma granular. Se trata de un compuesto sólido e incoloro que hidroliza fácilmente en presencia de agua y óxido de carbono, para producir ácido cianhídrico y carbonato de sodio, respectivamente.

A continuación se presentan las principales características del cianuro de sodio:

- Fórmula: NaCN
- Punto de ebullición: 1496°C
- Punto de fusión: 563,7°C
- Densidad: 1.60gr/mol
- Masa molecular: 49,05g/mol

### **Ilustración 27.-** Briquetas de cianuro de sodio



**Fuente:**[http://seia.sea.gob.cl/archivos/19a\\_capitulos\\_2\\_y\\_3.pdf](http://seia.sea.gob.cl/archivos/19a_capitulos_2_y_3.pdf)

#### **4.3.3 Cianuro de potasio.-**

El cianuro de potasio es la sal de potasio del cianuro de hidrógeno o ácido hidrocianico. Es un compuesto cristalino incoloro, similar en apariencia al azúcar, y altamente soluble en agua. Posee un grado de toxicidad alto, tiene un olor similar al de las almendras amargas. Puede formar compuestos solubles con el oro en la minería, razón por la que también se lo utiliza en la joyería para el dorado químico y para proporcionar brillo. Sus principales características son:

- Fórmula: KCN
- Punto de ebullición: 1625°C
- Punto de fusión: 634°C
- Densidad: 1.52gr/cm<sup>3</sup>
- Solubilidad en agua: 71,60gr/100ml a 25°C

#### 4.4 El cianuro en la naturaleza.-

El nitrógeno y el carbono se encuentran en gran parte de la naturaleza y son los elementos que dan lugar a la formación del cianuro. Estos dos elementos forman casi el 80% del aire que respiramos y están presentes en las moléculas orgánicas que son la base de todas las formas de vida. El cianuro de hidrógeno se formó en las primeras etapas de desarrollo de nuestro planeta, como sucesor de los aminoácidos, mediante el cual evolucionó la vida sobre la tierra. Los animales lo producen como mecanismo de defensa, convirtiéndolos en una fuente alimenticia poco atractiva. Existen ciertos microorganismos como: bacterias, algas y hongos que originan cianuro en forma natural, pero también existen otras especies que pueden adaptarse a la presencia de cianuro y hasta disminuir o eliminar su toxicidad.

**Ilustración 28.-** Fuentes naturales de cianuro.



**Fuente:**<http://webdelprofesor.ula.ve/farmacia/lunajr/escuela/hcn.ppt>

Una fuente natural de cianuro de hidrógeno es un compuesto similar al azúcar denominado amigdalina, que existe en muchas frutas, verduras, semillas y nueces,

entre las principales los damascos, brotes de poroto, castañas de cajú, cerezas, maíz, judías, lentejas, nectarinas, duraznos, maníes, pecanas, pistachos, papas y soja. En el corazón de la almendra amarga hay aproximadamente 1 mg de HCN en forma de amigdalina, la misma que tiene un uso farmacéutico.

Las concentraciones de cianuro presentes en ciertas plantas, podrían considerarse peligrosas si estuviesen vinculadas a fuentes manufacturadas. Las plantas como la alfalfa, el sorgo y la yuca son conocidas como fuente de envenenamientos para seres humanos y animales.

**Tabla 7.-** Concentraciones de cianuro en plantas seleccionadas.

ESPECIES DE PLANTAS	CONCENTRACIÓN (mg/kg)
Yuca (variedades dulces)	
Hojas	377 – 500
Raíces	138
Raíces desecadas	46 - <100
Puré	81
Punta de bambú	Max. 8000
Poroto blanco(judía)(Birmania)	2,100
Almendra (Amarga)	280 – 2,500
Sorgo (planta joven, integral)	Max. 2,500

**Fuente:** <http://www.panoramaminero.com.ar/ICMME.pdf>.

Existen plantas alimenticias que contienen ácido cianhídrico, cuyo empleo es muy difundido sobre todo en los trópicos. A continuación se presenta el contenido de ácido cianhídrico en ciertas plantas:

**Tabla 8.-** Contenido de ácido cianhídrico en algunas plantas.

PLANTA	CONTENIDO DE CNH (mg. en 100g.)
<b>Almendra amarga</b>	250
<b>Cassava</b>	
Corteza de la raíz seca	245
Tallo	113
Raíz entera	55
Sorgo planta entera	250
<b>Bambú</b>	
Punta de los brotes inmaduros	800
Tallo inmaduro	300
<b>Judía de lima</b>	
Variedad coloreada de Java	312
Variedad negra de Puerto Rico	300
Variedad blanca de Burma	210
Variedad coloreada de Arizona	17
Variedad blanca Americana	10

**Fuente:** ERNST LINDNER, Editorial ACRIBIA, Toxicología de los alimentos, España 2009.

#### **4.5 Aplicaciones.-**

##### **4.5.1 Industria minera.-**

En la minería se emplea el cianuro de sodio para la extracción de oro y plata de las rocas. El cianuro de sodio es uno de los poco compuestos químicos que disuelve el oro en agua, en los procesos mineros se utilizan soluciones muy diluidas de cianuro desodio,

típicamente entre 0.01% y 0.05% de cianuro (100 a 500 ppm), este proceso sustituyó al antiguo método de amalgamado de los metales preciosos con mercurio.

#### **4.5.2 Industria química.-**

El cianuro es uno de los compuestos más empleados en la industria química, debido a su composición de carbono y nitrógeno, y a la facilidad con la cual reacciona con otras sustancias.

“Anualmente se utiliza más de un millón de toneladas de cianuro, que representan alrededor del 80% de la producción total, en la producción de químicos orgánicos como el nitrilo, el nylon y los plásticos acrílicos.”<sup>9</sup>

#### **4.5.3 Industria farmacéutica.-**

Los compuestos de cianuro se usan en vendas quirúrgicas debido a que ayudan como cicatrizantes. También se aprovechan en productos farmacéuticos como el laetril que combate el cáncer, y el nitroprusiato que reduce la presión arterial.

#### **4.5.4 Sector industrial.-**

En el sector industrial, el cianuro se aplica principalmente en la producción de papel, pinturas, textiles y plásticos.

#### **4.5.5 Sector agrícola.-**

Se aplica en la elaboración de sustancias para combatir plagas que afecten a cultivos y en herbicidas. El cianuro de hidrógeno gaseoso, se ha usado ampliamente para

---

<sup>9</sup><http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20596/Capitulo2.pdf>

exterminar a los roedores y depredadores grandes, y en la práctica hortícola, para controlar las plagas de insectos que han desarrollado resistencia a otros pesticidas.

#### **4.5.6 Industria Metalúrgica.-**

Los cianuros de sodio y de potasio, son los compuestos más utilizados en la industria manufacturera de joyas, en el proceso de galvanizado y decapado del metal.

Los principales residuos generados por la industria galvánica son los baños, enjuagues y sedimentos, que contienen elevadas concentraciones de ión cianuro y metales peligrosos.

**Ilustración 29.-** Baño electrolítico de zinc.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

**Ilustración 30.-** Tanque para enjuagues.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

#### **4.6 Toxicocinética.-**

El cianuro es considerado como un inhibidor natural del crecimiento debido a que impide las reacciones de oxidación del fósforo, las mismas que permiten los procesos de respiración celular, es por esto que el nivel de toxicidad del cianuro se determina mediante la incapacidad de utilizar el oxígeno a nivel celular. “Ciertas especies de peces y animales inferiores son capaces de convertir el cianuro en ión de tiocianato, que no impide la actividad respiratoria de las enzimas”.<sup>10</sup>

Los compuestos cianúricos que se forman debido a la reacción del  $CN^-$  con ciertos metales pesados, los convierten en sustancias más tóxicas.

---

<sup>10</sup> LUND F., Herbert, “*Manual para el control de la Contaminación Industrial*”, Editorial Mc. Graw Hill, Madrid 1974, p 86.

#### 4.6.1 Absorción.-

Nuestro cuerpo tiene una capacidad natural para detoxificar pequeñas cantidades de cianuro y aparecen pequeñas porciones en el metabolismo de ciertos productos en el cuerpo como resultado de nuestras actividades diarias. Estas pueden incluir el metabolismo de la vitamina B12, la ingestión de alimentos que contienen cianuro, (por ejemplo yucas, brócoli o sal de mesa) y la exposición diaria al escape de automóviles y al humo de cigarrillo

El ácido cianhídrico es una molécula pequeña y tiene un pKa de 9,21 que hace que no esté ionizada al pH fisiológico. En el estado gaseoso es un compuesto de alta difusión. Atraviesa velozmente membranas por un mecanismo de difusión simple.

El cianuro es fuertemente tóxico para los humanos. El cianuro de hidrógeno líquido o gaseoso y las sales alcalinas del cianuro pueden ingresar al cuerpo por inhalación, ingestión o absorción a través de los ojos y la piel.

El nivel de absorción de la piel puede ser más rápido, cuando ésta se encuentra cortada, deteriorada o húmeda, o por factores que modifican la velocidad de absorción que pueden ser propios del compuesto, tales como:

- Liposolubilidad
- Constante de disociación

La absorción de los compuestos cianurados y los síntomas de envenenamientos en todos los casos son rápidos, sin embargo la absorción por vía respiratoria es mucho más rápida que la digestiva, puesto que puede tardar hasta una media hora por la presencia de alimentos.

La dosis letal para las sales de cianuro se encuentra en un rango de 200 – 300 mg., mientras que para el ácido cianhídrico es de 50 mg.

#### 4.6.2 Distribución y depósito.-

Si la absorción se dio por vía oral, una importante porción es detoxificada en el hígado.

La distribución del cianuro absorbido es uniforme y se efectúa de una manera rápida en tan solo minutos o pocas horas. Se distribuye prácticamente a todos los tejidos, sin embargo, los mayores niveles de concentración suelen encontrarse en hígado, pulmones, sangre y cerebro.

Se une a muchas metaloenzimas, inactivándolas, entre las cuales encontramos aquellas que contienen hierro, cobre y cobalto. La placenta de las mujeres embarazadas puede ser atravesada por el cianuro.

*Esta afirmación se basa en que se encontraron mayores niveles de tiocianato (principal metabolito del cianuro) en la sangre del cordón umbilical de fetos de madres fumadoras comparados con los niveles hallados en la sangre del cordón de fetos de madres no fumadoras, lo que sugiere que el tiocianato y posiblemente el cianuro atraviesen la placenta.<sup>11</sup>*

#### 4.6.3 Excreción.-

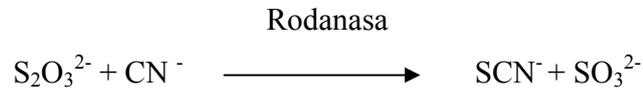
La excreción del cianuro se realiza mediante la orina como tiocianato, mismo que es fruto de la actividad de varias enzimas mitocondriales, en gran parte por la rodanasa, requiriéndose también de un compuesto dador de grupos sulfato, como es el caso del tiosulfato. Cuando el compuesto de cianuro ya se ha transformado en tiocianato en el hígado, su eliminación se da por vía renal.

Se puede decir que el tiocianato es mucho menos tóxico que el cianuro, pero su alta concentración en la sangre es capaz de producir intoxicación clínica.

---

<sup>11</sup>QUIROGA, Patricia, *Revisión de la toxicocinética y la toxicodinamia del ácido cianhídrico y los cianuros*, Buenos Aires, Julio 2009, [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-37432009000100003](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432009000100003) .

“El principal factor que limita esta eliminación es la presencia de cantidad suficiente de dadores de grupos sulfato. El resto del cianuro se excreta vía renal y pulmonar”.<sup>12</sup>



## 4.7 Química del Cianuro.-

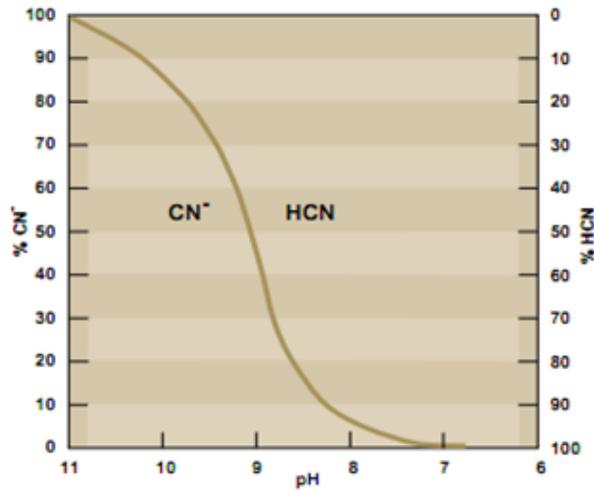
### 4.7.1 Cianuro Libre.-

*Es el término utilizado para describir tanto el ión de cianuro ( $\text{CN}^-$ ) que se disuelve en el agua del proceso como cualquier cianuro de hidrógeno ( $\text{HCN}$ ) que se forma en la solución. Las briquetas sólidas de cianuro de sodio se disuelven en el agua para formar el ión de sodio y el anión de cianuro ( $\text{CN}^-$ ). El anión de cianuro se combina luego con el ión de hidrógeno para formar  $\text{HCN}$  molecular. La concentración del ión de hidrógeno en el agua del proceso se expresa mediante el conocido parámetro  $\text{pH}$ .<sup>3</sup> Casi todo el cianuro libre está presente como  $\text{HCN}$  cuando hay abundantes iones de hidrógeno presentes, es decir, a un valor de  $\text{pH}$  de 8 o menos. Este  $\text{HCN}$ , entonces, puede volatilizarse y dispersarse en el aire. Cuando el  $\text{pH}$  es superior a 10.5, hay pocos iones de hidrógeno presentes y casi todo el cianuro libre está presente como  $\text{CN}^-$ . En condiciones normales de temperatura y presión, las concentraciones de  $\text{HCN}$  y  $\text{CN}^-$  son iguales a un valor de  $\text{pH}$  de aproximadamente 9.4.<sup>13</sup>*

<sup>12</sup> [www.fcm.uncu.edu.ar/medicina/posgrado/Hipoxias\\_Toxicas.pdf](http://www.fcm.uncu.edu.ar/medicina/posgrado/Hipoxias_Toxicas.pdf).

<sup>13</sup> <http://notijenck.com.ar/?p=475>

**Ilustración 31.-** Equilibrio de  $\text{CN}^-/\text{HCN}$  con el pH.



**Fuente:** <http://www.panoramaminero.com.ar/ICMME.pdf>.

#### 4.7.2 Complejos de cianuro.-

Los químicos en cianuro han logrado distinguir dos tipos de complejos de cianuro, los débiles y los fuertes.

En cuanto a los complejos débiles, más conocidos como “disociables en ácidos débiles” o cianuro DAD y WAD, pueden disgregarse en solución y dar como resultado concentraciones ambientales significativas de cianuro libre. Dentro de este grupo de cianuro están los siguientes: complejos de cianuro de níquel, plata, zinc, cobre, cadmio, cuyo grado de disociación depende en gran medida al pH de la solución.

En cambio los complejos cianurados fuertes se degradan de una forma más lenta en comparación con el cianuro DAD, en condiciones físicas y químicas normales. Dentro de este grupo se encuentran los complejos de cianuro de cobalto, hierro y oro, que son fuertes y estables en soluciones. La estabilidad de los complejos cianurados de oro es la clave para su uso en la extracción de este mineral, una vez que el oro entra a la solución

ligado al cianuro, permanece complejado hasta que las condiciones del proceso se combinan con el fin de removerlo de la solución.

La velocidad de disociación de los complejos de cianuro y la posterior liberación del cianuro libre depende de factores como: temperatura, pH de la solución y la intensidad de la luz, especialmente la radiación ultravioleta.

La enumeración de los complejos, obedece el orden de aumento relativo de estabilidad, a medida que se forman los complejos de cianuro se hacen más estables que el cianuro libre, como se presenta a continuación:

**Tabla 9.-** Estabilidad relativa de los complejos de cianuro en agua.

TÉRMINOS		EJEMPLOS PRESENTES EN SOLUCIONES DE PROCESAMIENTO DE ORO Y PLATA
1. Cianuro libre		$\text{CN}^-$ , HCN
2. Compuestos simples		
a) Fácilmente solubles		NaCN, KCN, $\text{Ca}(\text{CN})_2$ , $\text{Hg}(\text{CN})_2$
b) Realmente insolubles		$\text{Zn}(\text{CN})_2$ , CuCN, $\text{Ni}(\text{CN})_2$ , AgCN
3. Complejos débiles (fácil de ionizar)		$\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$ , $\text{Cd}(\text{CN})_3^-$ , $\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}$
4. Complejos moderadamente fuertes (moderadamente ionizables)		$\text{Cu}(\text{CN})_2^-$ , $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ , $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$ , $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$
5. Complejos fuertes (muy estables)		$\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ , $\text{Co}(\text{CN})_6^{4-}$ , $\text{Au}(\text{CN})_2^-$
6. Inorgánicos (inestables)		$\text{SCN}^-$ , $\text{CON}^-$
7. Orgánicos (Nitrilos)	Alifáticos	Acetonitrilo, Acilonitrilo, Adiponitrilo, Propionitrilo
Orgánicos (Nitrilos)	Aromáticos	Benzonitrilo

**Fuente:** <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20596/Capitulo2.pdf>

#### **4.8 Efectos adversos.-**

El cianuro es tóxico para los seres vivos, puede reaccionar con rapidez en el medioambiente, dependiendo de ciertas condiciones climáticas como la temperatura y rayos UV, y la presencia de bacterias que asimilan el cianuro. El cianuro de hidrógeno líquido o gaseoso y las sales alcalinas del cianuro pueden ingresar al cuerpo por inhalación, ingestión o absorción a través de los ojos y la piel. La severidad de los efectos causados por la exposición al cianuro, depende en parte al tipo de compuesto. Según la EPA –Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EEUU– la exposición a niveles altos de cianuro durante un período rápido causa daño al cerebro y al corazón, puede producir coma y la muerte.

Los trabajadores que respiraron niveles bajos de sales de cianuro durante varios años sufrieron dificultad para respirar, dolores del pecho, vómitos, alteraciones en la sangre, dolores de cabeza y dilatación de la glándula tiroides.

Los inicios sintomáticos de un envenenamiento por cianuro consisten en una respiración profunda y rápida, falta de aliento, seguido por convulsiones y pérdida de conocimiento. Estos síntomas pueden ser violentos dependiendo de la cantidad de cianuro ingerida.

Los efectos ocasionados a la salud ya sea por ingerir o respirar compuestos de cianuro son similares. Cuando el cianuro entra al cuerpo mediante la absorción de la piel los síntomas son más lentos que cuando se respira o se bebe. El cianuro de hidrógeno y las sales de cianuro pueden causar irritación y ampollas en la piel. La inhalación de 2.000 ppm de cianuro hidrogenado pueden ser fatales en tan solo un minuto.

*En 1967, Sandberg, describió síntomas de toxicidad por cianuro en un joyero que pulía oro 5 a 10 veces por día, exponiéndose a una solución pulidora de cianuro de potasio y peróxido de hidrógeno. Para preparar esta solución, la hervía, lo que liberaba vapor de HCN; por ello tuvo doble exposición: contacto con piel al pulir e inhalación de vapores de cianuro. Los síntomas descritos por Sandberg incluían cefalea, apatía, entumecimiento muscular, parestia de brazo y pierna izquierdos, pérdida*

*parcial de visión en el ojo izquierdo y alteraciones del electrocardiograma.*<sup>14</sup>

En concentraciones de 20 a 76 microgramos por litro, el cianuro es mortal para una gran cantidad de especies, y en concentraciones que superen los 200 microgramos por litro el efecto tóxico es rápido para la mayoría de las especies marinas.

“Los invertebrados experimentan efectos no letales adversos si son expuestos a concentraciones de entre 18 y 43 microgramos por litro de cianuro libre, y efectos letales entre 30 y 100 microgramos por litro”.<sup>15</sup>

#### 4.9 Límites permisibles.-

De acuerdo con la OMS –Organización Mundial de la Salud–, el límite permisible recomendado de cianuro en el agua potable es de 0.07mg/l., mientras que el límite establecido por la normativa ecuatoriana (TULAS) corresponde a 0.1 mg/l.

**Ilustración 32.-** Extracto de la tabla de límites permisibles de contaminante del agua potable en América según la OMS.

PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA POTABLE								
MICROBIOLÓGICOS								
Contaminante	Unidad	OMS	Argentina	Bolivia	Brasil	Chile	Colombia	Ecuador
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	0	0	0	0	0	0	ND
Coliformes Totales	UFC/100 mL	0	3	0	0	1	1	1
INORGÁNICOS								
Arsénico	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.05
Cadmio	mg/L	0.003	0.005	0.005	0.005	0.01	0.003	0.003
Cianuro	mg/L	0.07	0.1	0.07	0.1	0.2	0.1	0.1
Cobre	mg/L	2	1	1	1	1	1	1
Cromo	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.05
Mercurio	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01
Nitrato	mg/L	50	45	ND	10	10	10	10
Nitrito	mg/L	3	0.1	0.1	ND	1	0.1	0.1
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.01	0.05	0.05	0.01	0.01
Selenio	mg/L	0.01	ND	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

**Fuente:**

<http://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>

<sup>14</sup> RAMIREZ, Augusto V., *Toxicidad del cianuro. Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre*, <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v71n1/a11v71n1.pdf>

<sup>15</sup><http://minerasudaca.blogspot.com/2007/02/efectos-del-cianuro-en-la-salud-humana.html>

La EPA regula los niveles permitidos de cianuro en el agua potable por medio de sales de potasio. El nivel máximo de cianuro permitido en el agua potable es 0.2 ppm.

La OSHA –Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de EEUU– ha establecido un límite para el cianuro de hidrógeno y la mayoría de las sales de cianuro, que corresponde a 10 ppm en el aire del trabajo.

#### **4.10 Técnicas de Tratamiento.-**

El ión  $CN^-$  tiene gran facilidad para enlazarse con ciertos minerales. Desafortunadamente es muy venenoso para la vida animal. El cianuro es un compuesto químico muy estable y no se descompone fácilmente en el medio ambiente, es por eso que debe ser tratado in situ empleando el método de mayor factibilidad en cuanto a tiempo y presupuesto, para reducir su concentración tóxica en lugar de ser simplemente vertido a los cauces naturales.

##### **4.10.1 Degradación natural.-**

“En la Degradación natural el principal mecanismo es la volatilización con posteriores transformaciones atmosféricas a sustancias químicas menos tóxicas, finalmente se descomponen en amoníaco y bicarbonato”.<sup>16</sup>

En los suelos las bacterias asimilan el cianuro mediante reacciones aeróbicas y anaeróbicas, siendo la luz la que influye directamente en la degradación.

Las especies de cianuro pueden ser adsorbidas sobre las superficies de los minerales o del desecho de carbono orgánico en los suelos del terraplén de un estanque, en un

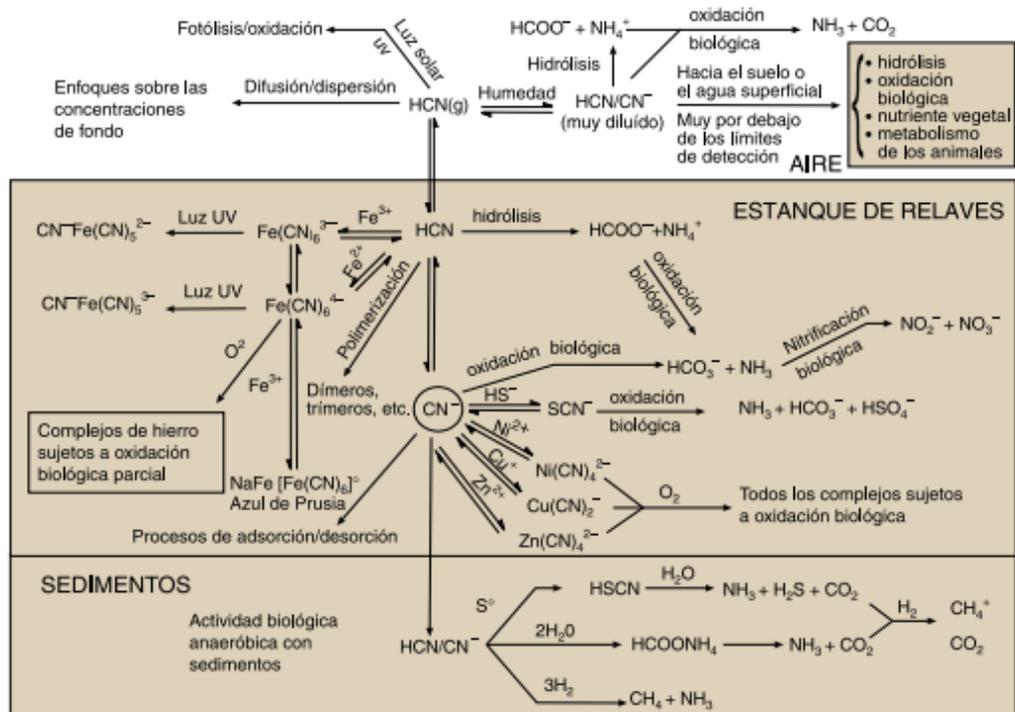
---

<sup>16</sup> LOGSDO, Mark J., HAGELSTEIN, Kare, MUDDER, Terry I., Canadá, *El manejo del cianuro en la extracción de oro*, Abril del 2001. [http://www.caem.com.ar/files/El%20Manejo%20de%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.caem.com.ar/files/El%20Manejo%20de%20cianuro%20(ICMM).pdf)

recubrimiento de arcilla o a lo largo de una vía de agua subterránea. Los procesos naturales de degradación natural combinados pueden ser suficientes para cumplir las normativas de calidad de aguas residuales industriales que contienen cianuro. En los depósitos de relaves, la gran superficie permite la descomposición del cianuro DAD.

“La Figura 33 ilustra una situación típica en la cual la mitad del CNT –cianuro total– se degradó naturalmente en menos de tres semanas a partir de la concentración inicial de 20 miligramos por litro. El CNT desapareció casi completamente en aproximadamente 100 días.”<sup>17</sup>

**Ilustración 33.-** Ciclo de cianuro y su comportamiento en relaves.



**Fuente:**

[http://www.caem.com.ar/files/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.caem.com.ar/files/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20(ICMM).pdf)

<sup>17</sup>LOGSDO, Mark J., HAGELSTEIN, Kare, MUDDER, Terry I., Canadá, *El manejo del cianuro en la extracción de oro*, Abril del 2001. [http://www.caem.com.ar/files/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.caem.com.ar/files/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20(ICMM).pdf)

Las velocidades reales de degradación deben determinarse mediante ensayos basados en la especificidad del emplazamiento y empleando condiciones que imiten, tanto como sea posible, los tipos de soluciones y los procesos naturales que probablemente ocurran en ese lugar.

#### **4.10.2 Oxidación Química.-**

Este proceso transforma las sales de cianuro en otros compuestos que no son perjudiciales. Dentro de este tratamiento existen diferentes procesos que fueron iniciados por la empresa alemana “Deutsche Gold – und Silber – Scheideanstalt (DEGUSSA)” para degradar este elemento tóxico:

##### **4.10.2.1 Con SO<sub>2</sub>/Aire (proceso INCO).-**

“En este proceso es necesario controlar la concentración de cianuro, la dosificación de SO<sub>2</sub>, la concentración de metales, aniones y otros compuestos en el efluente, así como el pH, cianuros libres y la demanda y transferencia de oxígeno, entre otras variables, con el fin de eliminar el cianuro en forma eficiente”.<sup>18</sup>

Los reactivos químicos que pueden utilizarse en este proceso son:

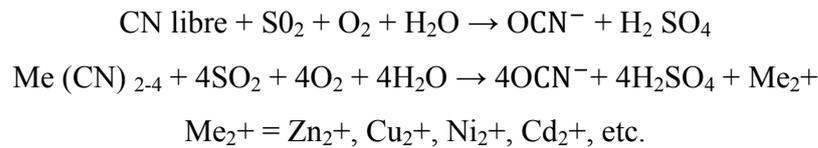
- Bisulfito de amonio
- Bisulfito de sodio
- Metabisulfito de sodio
- Sulfito de sodio
- Tiosulfito de sodio

---

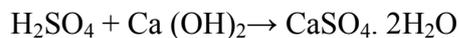
<sup>18</sup> <http://www.cryoinfra.com/aplicaciones/item/73-destrucci%C3%B3n-de-cianuro-asistida-con-o2>

A continuación se presentan las reacciones que tiene lugar en el proceso de oxidación química:

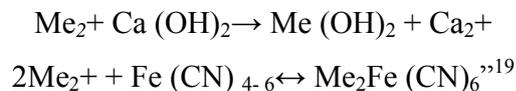
*“Oxidación*



*Neutralización*



*Precipitación*



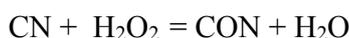
**4.10.2.2 Con peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).**

El peróxido de hidrógeno, un potente oxidante, oxida el cianuro libre y el cianuro DAD y los convierte en amoníaco y bicarbonato. Los cianuros de hierro no se oxidan mediante el peróxido de hidrógeno, pero precipitan como sólidos insolubles y estables. Algunas veces es necesario añadir sustancias químicas para controlar la concentración de cobre en las soluciones con el fin de cumplir con las normas ambientales. El sistema con peróxido de hidrógeno se adapta bien al tratamiento de lodos debido a los irregulares requerimientos de peróxido de hidrógeno cuando hay sólidos presentes.

---

<sup>19</sup> MARÍN, Marisol y otros, *Análisis comparativo in vitro de la actividad biodegradadora de bacterias del género pseudomonas sp. y microorganismos nativos, para su uso en un proceso de biorremediación in situ de sales de cianuro*, Tesis U.P.S Facultad de Ingeniería Ambiental, Cuenca, Diciembre del 2010, p. 76

El primer proceso de oxidación con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> conocido como Kastone fue propuesto en 1974 por Mathre y Devries en 1981. Este proceso utiliza una solución de peróxido de hidrógeno al 41% con unos pocos mg/l de formaldehído y cobre. El segundo proceso fue desarrollado por Degussa Corporation, empleando una solución de peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre. Debido a la presencia de este metal dentro de los minerales tratados la reacción fundamental es:



“El ácido de Caro, que combina ácido sulfúrico con peróxido de hidrógeno para formar H<sub>2</sub>SO<sub>5</sub>, también se emplea como agente oxidante para descomponer el cianuro en solución”.<sup>20</sup>

#### **4.10.2.3 Oxidación con hipoclorito de sódico.-**

Desde hace años se ha utilizado el cloro para la depuración de aguas industriales cianuradas debido a su acción oxidante. El tratamiento de las sales de cianuro por cloración alcalina, es un proceso que implica la oxidación de los efluentes con cloro a elevado pH.

#### **4.10.3 Oxidación Catalítica.-**

Se han realizado estudios voltamperométricos que consisten en métodos electroanalíticos usados en varios procesos industriales. Mediante dicho estudio se analizó una solución cianurada que contenía Cu(I) sobre carbón vítreo (CV), acero inoxidable y titanio (Ti). Muestran que la relación molar CN<sup>-</sup>Cu<sup>+</sup> y el sustrato, representan un papel importante en la oxidación catalítica de sales de cianuro que ocurre por un mecanismo que involucra especies adsorbidas de CN<sup>-</sup>, Cu(I) y Cu(II).

---

<sup>20</sup> LOGSDON, Mark J., HAGELSTEIN, Kare, MUDDER, Terry I., Canadá, *El manejo del cianuro en la extracción de oro*, Abril del 2001. [http://www.caem.com.ar/files/El%20Manejo%20de%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.caem.com.ar/files/El%20Manejo%20de%20cianuro%20(ICMM).pdf)

#### 4.10.4 Precipitación.-

La precipitación de cianuros estables se puede obtener mediante la adición deliberada de complejantes tales como el hierro. Esto reduce la concentración de cianuro libre y también es efectivo para controlar los elevados niveles de otros metales que pueden estar presentes. Los cianuros de hierro pueden reaccionar con otras sustancias químicas en solución y producir precipitados sólidos, que pueden contener una docena de sales insolubles de cianuro, removiendo de tal forma este contaminante de la solución. “Parte del cianuro de las soluciones de los procesos reaccionará con otros componentes químicos que se encuentren dentro del sistema y formarán concentraciones mucho menos tóxicas de compuestos tales como el amoníaco, el nitrato y el dióxido de carbono.”<sup>21</sup>

#### 4.10.5 Biodegradación.-

Hoy en día la biodegradación es una técnica base para los sistemas de tratamiento de los efluentes residuales industriales. Las condiciones aeróbicas son mucho más propicias para la degradación del cianuro que las condiciones anaeróbicas, aunque por lo general los organismos anaeróbicos pueden ser muy eficientes para tratar el cianuro en concentraciones de hasta varios mg/l.

Se han diseñado tanto sistemas activos como sistemas pasivos de tratamiento biológico, que remueven el cianuro empleando especies microbiológicas como: hongos (*Fusarium*, *Hasenula*) y bacterias (*E.coli*, *Pseudomonas fluorescens*, *Citrobacter*, *Bacillus subtilis* y otros), que asimilan el cianuro y lo usan como fuente de nitrógeno y/o carbono, teniendo como intermediario amoníaco (NH<sub>3</sub>).

---

<sup>21</sup> LOGSDO, Mark J., HAGELSTEIN, Kare, MUDDER, Terry I., Canadá, *El manejo del cianuro en la extracción de oro*, Abril del 2001. [http://www.caem.com.ar/files/El%20Manejo%20de%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.caem.com.ar/files/El%20Manejo%20de%20cianuro%20(ICMM).pdf)

Las bacterias utilizan el oxígeno del aire para descomponer los compuestos de cianuro en nitratos, bicarbonatos y sulfatos. Este proceso microbiano es capaz de oxidar los complejos de cianuro metálico, los iones metálicos de las especies de cianuro DAD y los subproductos intermedios de la oxidación del cianuro.

Las posibles limitaciones de los sistemas de tratamiento biológico son su reducido rendimiento con temperaturas frías y con concentraciones muy altas de cianuro.

## CAPÍTULO V

### MARCO LEGAL

#### **5.1 Constitución Política del Ecuador.-**

En la Constitución Política del Ecuador aprobada en el año 2008, de acuerdo el Capítulo segundo de la biodiversidad y recursos naturales, el país debe regirse a los siguientes artículos:

**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

**Art. 412.-** La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

#### **5.2 Ordenanzas municipales.-**

La Comisión de Gestión Ambiental (CGA), establece la “*Ordenanza para la aplicación del subsistema de evaluación de impacto ambiental, dentro de la jurisdicción de cantón Cuenca*”, que estipula los siguientes artículos:

## **TÍTULO I.- De la evaluación de impacto ambiental**

**Art. 2.- Ámbito de aplicación:** Lo dispuesto en esta ordenanza es aplicable, dentro de la jurisdicción territorial del cantón Cuenca a las instalaciones, construcciones, infraestructura, proyectos o actividades de cualquier naturaleza, y en general a cualquier actividad productiva que suponga o pueda generar impactos ambientales o que se encuentran establecidas en la “*Lista de Categorización de Actividades Productivas*”, que forma parte de la presente ordenanza.

En análisis a esta ordenanza se determinó que la empresa Tecnoproducción se encuentra dentro de la “*Lista de categorización de actividades productivas según el tipo de instrumento de control de impacto ambiental*” en el puesto número 143.

De acuerdo a su actividad productiva “*Fabricación de productos metálicos, no especificados en otra parte, exceptuando maquinaria y equipo (industrias tipo A, industrias de mediano impacto)*” este grupo incluye las industrias que se dedican a esmaltar, barnizar, laquear, galvanizar, chapar y pulir artículos metálicos.

**Art. 3.- Instrumentos de control del subsistema de evaluación de impacto ambiental:** El presente subsistema de Evaluación de Impacto Ambiental, reconoce los siguientes instrumentos de control de impacto ambiental para las diversas categorías de actividades productivas contempladas en el Art. 4 de la presente ordenanza:

1. Ficha Ambiental
2. Estudio de Impacto Ambiental (Es. I. A.)
3. Estudio de Impacto Ambiental Expost o Diagnóstico Ambiental (D. A.)
4. Auditoría Ambiental (Inicial o de Cumplimiento)

**Art. 4.- Tipos de actividades productivas:** El presente Subsistema de Evaluación de Impacto Ambiental, reconoce las siguientes categorías para las diversas actividades

productivas que se desarrollan y que pueden desarrollarse dentro de la jurisdicción del cantón Cuenca, para las que se imponen obligatoriamente los distintos instrumentos de control contemplados en el Art. 3 de la presente ordenanza. La empresa Tecnoproducción corresponde a la categoría II, la cual se describe a continuación:

**Categoría II:** Actividades productivas que generan impactos ambientales significativos. Las actividades pertenecientes a esta categoría, deben someterse, obligatoriamente, según sea el caso, a un (E.S.I. A.), o a un Estudio de Impacto Ambiental Expost, y a una Auditoría Ambiental, y a una Auditoría ambiental. La CGA en consideración del proceso productivo y de la fragilidad del medio en el cual se emplace, exigirá, de ser necesario, la obtención de la respectiva Licencia ambiental a las actividades de esta categoría.

#### **TITULO VIII. Del juzgamiento, competencia y sanciones**

**Art. 72.- Infracciones y sanciones para el caso de incidentes o accidentes:** Cuando durante la realización de una obra, proyecto o actividad productiva, se presenten incidentes o accidentes donde se produzcan derrames o emisiones de materias primas, subproductos industriales, productos químicos peligrosos, residuos sólidos no domésticos, o lodos potencialmente contaminantes, que perjudiquen la salud y bienestar de la población, la infraestructura o el ambiente en general, sin perjuicio de las acciones civiles y penales que estos hechos pueden generar, se le aplicarán, según el caso:

“c).- 200 SBU para aquellas actividades contempladas como categoría III en la Lista de Categorización de Actividades productivas y su suspensión y clausura de la actividad, hasta que la CGA considere superado el caso o reparado el daño”.

### 5.3 Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS).-

En conformidad con el TULAS, se consideran los criterios de calidad para aguas de uso industrial que detalla los parámetros generales en la descarga de efluentes en un sistema de alcantarillado público, mediante el Art. 4.2.2, numeral 4.2.2.1, literal e, que se describe a continuación:

#### 4.2.2 Normas de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público.

4.2.2.1 Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado, cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:

- e) Fosgeno, cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno, sustancias comprobadamente tóxicas.

De acuerdo con los límites de descarga que deben cumplir las aguas residuales, se presenta la siguiente tabla:

**Tabla 10.-** Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	Sustancias Solubles en Hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Ácidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1

Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.
<b>Cianuro total</b>	<b>CN<sup>-</sup></b>	<b>mg/l</b>	<b>1,0</b>
Cobalto Total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D. B. O <sub>5</sub>	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D. Q. O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro Total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso Total	Mn	mg/l	10,0
Materia Flotante	Visible		Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220
Sólidos Totales		mg/l	1600
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		<40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1,0
Compuestos organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales	mg/l	0,1
Vanadio	V	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	10

**Fuente:** Texto Unificado de Legislación Secundaria, Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: recurso agua, 2002.

#### **5.4 Regulaciones en el manejo de productos químicos peligrosos.-**

De acuerdo con el Instituto Ecuatoriano de Normalización: Norma Técnica Ecuatoriana – NTE INEN 2 266:2000 “*Transporte, Almacenamiento y Manejo de productos químicos peligrosos. Requisitos*” menciona el manejo de productos químicos, determinado que los incisos competentes para la industria galvánica son:

#### **Prevención y emergencias**

**6.10.1** Será tarea fundamental de todos los involucrados en el manejo de productos químicos peligrosos el realizar acciones para prevenir accidentes. Para esto se debe: Identificar y evaluar todos los riesgos, así como las zonas vulnerables y de mayor fragilidad y determinar un plan de prevención de riesgos, seleccionando alternativas que lo minimicen y un plan de acción o de actividades para controlarlos.

#### **Tratamiento y disposición final**

##### **6.11.1 Tratamiento**

**6.11.1.2** La empresa responsable de los residuos de productos químicos peligrosos, envases, embalaje y productos caducados, debe establecer el proceso de tratamiento y

eliminación adecuado, considerando el reciclaje como primera alternativa, basado en las normas vigentes, información técnica de los componentes del residuo a tratar, caracterización del mismo. La empresa llevará un registro del volumen de los residuos tratados que estará a disposición de la autoridad competente.

**6.11.1.3** Para minimizar los peligros de contaminación al ambiente, causados por los derrames de productos químicos peligrosos, después de terminada la limpieza, se debe realizar un muestreo y análisis de los suelos, materiales absorbentes y demás desechos para recomendar su disposición final de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes, reglamentos y leyes existentes.

## CAPÍTULO VI

### PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

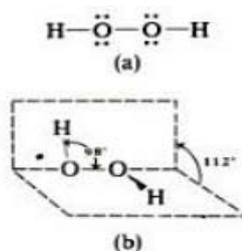
#### 6.1 Generalidades.-

El peróxido de hidrógeno, también conocido como dióxido de hidrógeno es el producto primario de la acción del oxígeno sobre el hidrógeno, se forma en cantidades pequeñas cuando el hidrógeno arde en el aire, o cuando una mezcla de hidrógeno y oxígeno se hace pasar sobre negro de paladio. “Fue descubierto por el químico Francés Louis-Jacques Thenard en 1818.”<sup>22</sup>

Su fórmula molecular es  $H_2O_2$ , está formado por dos átomos de oxígeno y dos de hidrógeno, debido a esto se lo conoce como agua oxigenada por tener un átomo de oxígeno más que el agua. Como todos los peróxidos presenta un enlace oxígeno-oxígeno.

Su estructura molecular es la siguiente:

#### Ilustración 34.- Estructura del peróxido de hidrógeno.



**Figura 17.9 Estructura del peróxido de hidrógeno.**  
(a) Estructura de Lewis.  
(b) Dimensiones. Los dos enlaces OH de la molécula  $H_2O_2$  no se encuentran en el mismo plano. En estado sólido el ángulo entre ellos es de  $112^\circ$ .

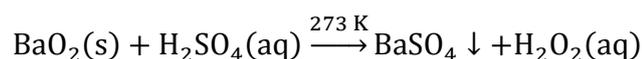
**Fuente:** Ronald J. Gillespie, Química, 1990.

<sup>22</sup> MOLINARIA, Hector, *Química General aplicada a la industria: química inorgánica*, Tomo I, 3<sup>ra</sup> Edición, Editorial Gustavo Gilli, Barcelona – España 1914, p. 377.

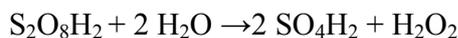
El peróxido de hidrógeno se encuentra en la naturaleza en pequeñas cantidades. Está presente en la atmósfera después de fuertes descargas eléctricas o nevadas. En la nieve se puede encontrar hasta un miligramo de peróxido de hidrógeno por kilogramo.

La obtención del peróxido de hidrógeno se puede realizar mediante los siguientes métodos:

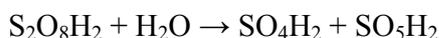
En el laboratorio se pueden conseguir pequeñas cantidades mediante la reacción de un peróxido que puede ser de bario ( $\text{BaO}_2$ ) o sodio ( $\text{Na}_2\text{O}_2$ ) y ácido sulfúrico diluido en frío. Con esta reacción se forma sulfato de bario el cual al ser insoluble precipita fácilmente obteniéndose la solución de peróxido de hidrógeno.



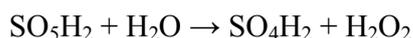
También existen métodos electroquímicos dentro de los cuales está la hidrólisis del ácido persulfúrico o de sus sales. Casi la totalidad del  $\text{H}_2\text{O}_2$  que hoy se consume en el mundo se obtiene por la siguiente reacción:



La misma se da a través de dos etapas. En la primera de ellas se forma el ácido monopersulfúrico o ácido de caro  $\text{SO}_5\text{H}_2$ :



que a su vez se transforma por hidrólisis más profunda en  $\text{H}_2\text{O}_2$ :



“La hidrólisis de los persulfatos sigue el mismo esquema porque se realiza siempre en presencia de ácido sulfúrico de alta concentración, de modo que el cuerpo hidrolizado es

realmente el ácido persulfúrico, y el que industrialmente se parta del ácido persulfúrico, o de alguna de sus sales, depende del equilibrio económico.”<sup>23</sup>

Otros métodos de formación del peróxido de hidrógenoson:

- Descargas eléctricas a través del hidrógeno.
- Electrólisis de disoluciones de ácido sulfúrico o bisulfito amónico, usando oxígeno comprimido puesto en contacto con el hidrógeno naciente.
- Oxidación de éter.
- Agitando polvo de metales que formen peróxidos con facilidad, como el zinc, con agua y aire.

La concentración de una solución de peróxido de hidrógeno se expresa generalmente en volúmenes, lo que describe el volumen de oxígeno que puede liberar la mencionada solución. También se puede expresar en tanto por ciento en peso, que indica el porcentaje de peróxido de hidrógeno que se encuentra en la solución. Para su comercialización en muchos casos se agregan estabilizantes para retardar la descomposición, entre ellos tenemos: glicerina, ácido salicílico, urea, etc. A continuación se describen algunas de las concentraciones más comunes en las que se encuentra el peróxido de hidrógeno:

- 3%: Es el que encontramos generalmente en las farmacias, contiene estabilizantes como el fenol, acetanilida y estancito de sodio, se emplea usualmente para fines domésticos.

---

<sup>23</sup> PASCUAL, D. Juan Abelló, *Discurso leído en la Solemne Sesión Inaugural de Curso*, 1954, <http://ranf.com/pdf/discursos/ina/1954.pdf>

- 6%: contiene un activador que lo hace efectivo como agente blanqueador. Su uso está ampliamente difundido en peluquerías.
- 30%: en esta concentración el peróxido de hidrógenos muy corrosivo y su manipulación resulta peligrosa por lo que se deben tener las debidas precauciones. Al contacto con la piel puede causar quemaduras, en esta presentación el peróxido de hidrógenose encuentra solamente en almacenes químicos.
- 35%: también conocido como grado alimenticio, debido a que se usa ampliamente en la industria alimenticia como desinfectante no tóxico para mantener ciertos alimentos libres de bacterias indeseables. También es usado en la industria de lácteos como desinfectante y bactericida.
- “90%: es usado en el ejército y en la exploración espacial como fuente de propulsión en combustibles de cohetes.”<sup>24</sup>

## 6.2 Características físicas.-

El peróxido de hidrógeno anhidro puro se presenta como un líquido incoloro y viscoso con las siguientes características:

- Densidad: 1.45g/cc a 20°C
- Peso molecular: 34.02
- Viscosidad del líquido: 1.245 centipoises a 20°C
- Tensión superficial: 80.4 dinas/cm a 20°C.
- Punto de congelación: -0.43°C
- Punto de ebullición a presión atmosférica: 150.2°C

---

<sup>24</sup> ALTMAN, Nathaniel, *Terapias de oxígeno para una mayor salud y vitalidad*, 2<sup>da</sup> Edición, Editorial Etoile, Ciudad de México-México 1996, p. 63-64.

- Calor de vaporización a 25°C: 12.334 cal/mol
- Capacidad calorífica del líquido a 25°C: 0.628 cal/g°C.
- Punto de ebullición: 144°C a 1 atmósfera.
- Constante dieléctrica: 89.2 a 0°C. Al mezclarse con el agua este valor se eleva, 120 en una solución al 30%.
- Conductividad específica en estado puro:  $2 \times 10^{-6}$  a 0°C.

Presenta todas las características de un líquido asociado (moléculas unidas por puentes de hidrógeno) y físicamente se parece mucho al agua.

Es miscible con el agua en todas las proporciones, pero relativamente poco soluble en líquidos no asociados. Es un excelente disolvente ionizante.

“El peróxido de hidrógeno puede actuar como oxidante y como reductor. Su poder de oxidación es mayor en solución alcalina. Su gran poder reductor se debe a que separa átomos de oxígeno de otras moléculas en forma de oxígeno diatómico.”<sup>25</sup>

### 6.3 Características químicas.-

- Acidez: 11,65
- Solubilidad en agua: Miscible
- Momento dipolar: 2,26 Debyes

El peróxido de hidrógeno concentrado es una sustancia peligrosamente reactiva, debido a que su descomposición para formar agua y oxígeno es sumamente exotérmica. Con la siguiente reacción termoquímica se puede demostrar este hecho:




---

<sup>25</sup>SIDGWICK, Nevil, *Los elementos químicos y sus compuestos, tomo II*, 5<sup>a</sup> Edición, Editorial Aguilar SA, Madrid – España 1956, p. 14.

Además puede combustionarse si entra en contacto con materia orgánica o ciertos metales.

Es un fuerte agente oxidante, pero también puede actuar como agente reductor en la presencia de otros agentes oxidantes, las reacciones de oxidación – reducción del peróxido de hidrógeno se describirán posteriormente.

### 6.3.1 Descomposición.-

El peróxido de hidrógeno se descompone lentamente con liberación de calor en oxígeno y agua. Una muestra estable de esta sustancia se descompone normalmente en la proporción de 0.5% por año a temperatura ambiente.

Actualmente se fabrica en grandes masas, en concentraciones del 90%, pues su manejo como peróxido anhidro representa una dificultad, sobre todo en lugares de baja temperatura, pues su punto de congelación es de  $-1.7^{\circ}\text{C}$ .

En el siguiente cuadro se expone cómo depende de la temperatura la velocidad de descomposición del agua oxigenada pura comercial del 90%.

**Tabla 11.-** Relación de Temperatura y velocidad de descomposición del  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

TEMPERATURA	VELOCIDAD DE DESCOMPOSICIÓN
30° C	1% por año
66° C	1% por semana
100°C	2% por día
140°C	Descomposición rápida.

**Fuente:**<http://ranf.com/pdf/discursos/ina/1954.pdf>

La velocidad de descomposición está muy influenciada por algunas impurezas que la catalizan, siendo el cobre y el cromo entre todas las impurezas estudiadas las que actúan con más energía. De hecho, al adicionar 0,01 miligramos de cobre por litro a una muestra de agua oxigenada que sin impurezas pierde el 2% de su oxígeno activo en veinticuatro horas a 100 grados centígrados, se descompone en el mismo tiempo y a la misma temperatura hasta la proporción de 24%.

El hierro también favorece la descomposición del peróxido de hidrógeno y es peligroso y difícil de evitar, debido a la abundancia de este elemento.

La única forma de eliminar estos agentes contaminantes es a través de una destilación prolijamente realizada, pero en ciertas ocasiones las condiciones del mercado no permiten llevarla a cabo, siendo la única forma para aumentar la estabilidad del producto bloquear química o físicamente los catalizadores. Para este fin se usan los llamados estabilizadores.

Existe una serie de productos que se usan como estabilizadores del peróxido de hidrógeno industrialmente y es posible clasificarlos en dos grupos:

- Dentro del primero se encuentran aquellos que actúan por formación de complejos con los agentes contaminantes, especialmente con los metales pesados; dentro de este grupo tenemos: fluoruros, cianuros, pirofosfatos, acetanilida, 8-hidroxiquinoleína, benzoatos, salicilatos, etc., siendo los orgánicos poco activos a largo plazo.
- En el segundo grupo pueden incluirse cuerpos recién precipitados, como la sílice, la alúmina y los óxidos hidratados de antimonio o de estaño que deben su poder estabilizador a la capacidad para adsorber los agentes que catalizan la descomposición del peróxido de hidrógeno.

La estabilización con ácidos actúa directamente modificando la ionización del peróxido de hidrógeno y disminuyendo la concentración de los iones OOH', que parecen ser los responsables de su descomposición.

Se ha demostrado experimentalmente que la estabilidad de este cuerpo puro disminuye notablemente en presencia de álcalis fuertes.

En ningún caso la descomposición del agua oxigenada líquida es explosiva. Puede ser muy rápida si se mezcla con un catalizador adecuado y esta propiedad se aprovecha para la impulsión de artefactos bélicos, y sólo puede ser peligrosa si se realiza en un recipiente cerrado o con ventilación insuficiente.

### **6.3.2 Reacciones redox.-**

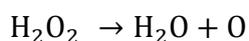
Los usos tanto domésticos como industriales del peróxido de hidrógeno se basan en su fuerte poder oxidante, cuando actúa como tal el resultado de la reacción es agua. Sin embargo, junto a sustancias oxidantes como el permanganato o dicromato actúa como reductor y lo que se produce es oxígeno.

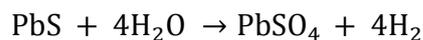
#### **6.3.2.1 Propiedades de oxidación.-**

Es un fuerte agente oxidante en soluciones tanto ácidas como alcalinas debido a que provee fácilmente un átomo de oxígeno.

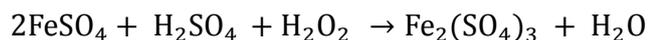
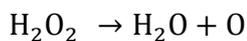
Algunas reacciones comunes de oxidación producidas por el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> son:

- Oxida el sulfuro de plomo a sulfato de plomo en una solución neutral:

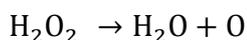




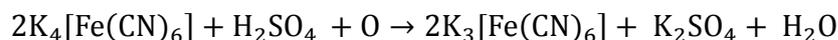
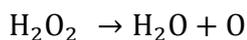
- Oxida el sulfato ferroso acidificado a sulfato de hierro en un medio ácido.



- Oxida el yoduro de potasio acidificado a yodo en un medio ácido.



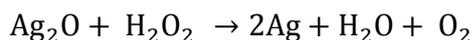
- Oxida el ferrocianuro potásico a ferrocianuro.



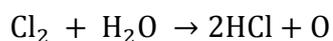
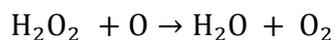
### 6.3.2.2 Propiedades de reducción.-

El peróxido de hidrógeno puede actuar como agente reductor en la presencia de otros agentes oxidantes, esto se debe a que puede tomar un átomo de oxígeno para formar agua y oxígeno gaseoso.

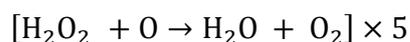
Un ejemplo de esta propiedad se puede evidenciar con la siguiente reacción, en la que reduce el óxido de plata a plata:



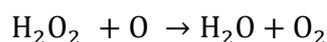
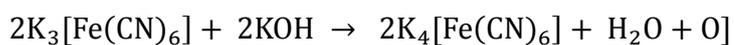
Otro ejemplo es que reduce cloro a ácido clorhídrico.



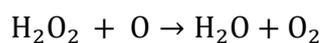
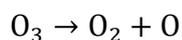
Decolora el tono rosado de una solución ácida de permanganato de potasio.



Reduce el ferrocianuro alcalino de potasio a ferrocianuro de potasio.



Reduce el ozono a oxígeno.



### **6.3.3 Formación de los compuestos del peróxido de hidrógeno.-**

Dentro de las sustancias que pueden considerarse como compuestos formados a partir del peróxido de hidrógeno tenemos:

#### **6.3.3.1 Peróxidos orgánicos.-**

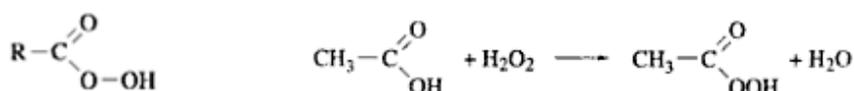
Son sustancias orgánicas líquidas o sólidas y contienen el grupo funcional  $-\text{O}-\text{O}-$  en el que uno o ambos átomos del hidrógeno han sido sustituidos por radicales orgánicos.

“Son sustancias térmicamente inestables y pueden sufrir una descomposición exotérmica auto acelerada.”<sup>26</sup>

### 6.3.3.2 Peroxiácidos.-

Los más importantes dentro de este grupo son el ácido peracético y el perbenzoico. Presentan la estructura que se muestra en la ilustración 35. Estos compuestos se forman, espontáneamente, por autoxidación de los aldehídos, pero industrialmente se obtiene a partir del peróxido de hidrógeno mediante la reacción mostrada en la ilustración.

**Ilustración 35.-** Estructura y obtención de los peroxiácidos.



**Fuente:** Eduardo Primo Yúfera, Química orgánica básica y aplicada: de la molécula a la industria, 1996.

### 6.3.3.3 Hidroperóxidos.-

Su grupo funcional es -OOH.

### 6.3.3.4 Perésteres.-

Presentan la estructura general RC(O)OOR'.

### 6.3.4 Alcalinidad.-

En solución acuosa el peróxido de hidrógeno se presenta como un ácido muy débil. Pero dependiendo de la concentración que tenga, el pH del mismo puede variar.

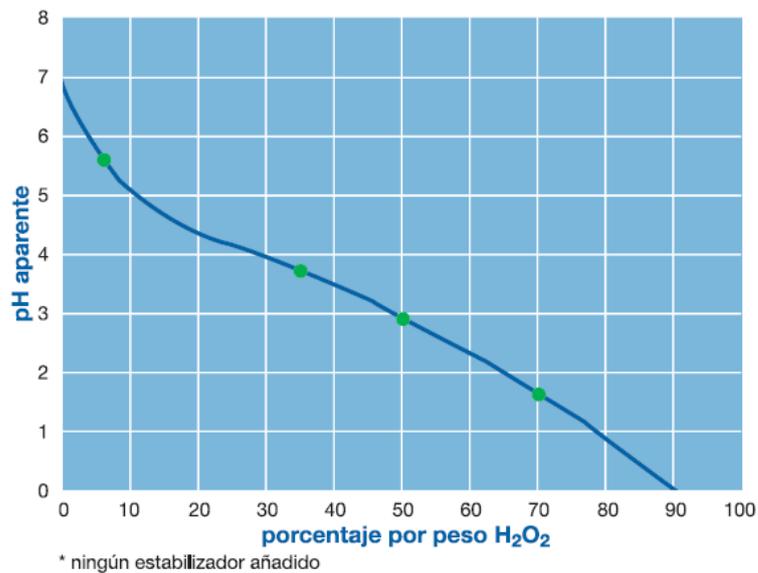
---

<sup>26</sup> OCAMPO, José Antonio, *Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos*, 1<sup>ra</sup> Edición, Editorial United Nations Publications, Cali – Colombia, 2006, p. 105.

La estabilidad de este compuesto se ve afectada por el pH que presente. La misma es mejor en la región del pH neutro. A un pH menor la estabilidad no se ve afectada, pero a un pH más alto ésta se deteriora muy rápidamente y el peróxido de hidrógeno alcalino puede ser muy inestable. Por lo que, la contaminación del peróxido de hidrógeno ocasionada por ácidos, y particularmente por álcalis, debe evitarse.

En el siguiente gráfico se muestra el pH del peróxido de hidrógeno de alta pureza a diferentes concentraciones:

**Ilustración 36.-** pH del peróxido de hidrógeno de alta pureza a diferentes concentraciones.



**Fuente:** <http://www.sciencemadness.org/scipics/jo01062a004.pdf>

#### 6.4 Aplicaciones.-

Este compuesto se ha usado comercialmente desde mediados de 1800 como agente blanqueador no contaminante, oxidante y desinfectante.

A continuación se describen los principales usos del peróxido de hidrógeno.

#### **6.4.1 Usos industriales.-**

En la industria se utiliza principalmente para decolorar. Detallamos algunos de los procesos de blanqueo en los que se aplica:

- En blanqueos de algodón y en menor proporción de lana, seda y ciertas fibras vegetales y sintéticas.
- Blanqueos de pastas químicas, madera pulverizada y linóleo. También es usado para mejorar el color de ciertas ceras y aceites.
- En el proceso de reciclaje sirve para desteñir residuos de color.
- En los estados finales del blanqueo de despolimerización del almidón, adhesivos, etc.

En la industria alimenticia se usa ampliamente para blanquear quesos, pollos, carnes, huesos. También en el proceso para la elaboración de aceites vegetales. Además se usa como agente bactericida para ayudar a la conservación de los alimentos.

En la industria química se usa como reactivo, y es muy importante en la elaboración de fármacos. Se está usando también para blanqueos dentales.

#### **6.4.2 Aplicaciones domésticas.-**

Se utiliza como blanqueador de vestimentas y del cabello, también para aplicaciones medicinales como desinfectar heridas o para realizar enjuagues bucales por su acción antibacteriana. También se usa para el lavado de verduras y frutas. Está presente en los dentífricos. Para estos fines se encuentra en concentraciones muy bajas.

#### **6.4.4 Uso como propulsor.-**

Se utiliza en concentraciones del 90%. En la segunda Guerra Mundial, se usaron grandes cantidades de peróxido de hidrógeno concentrado, sobre todo en Alemania, como fuente de energía para ingenios militares, tales como torpedos, aviones – cohetes, submarinos y

catapultas de lanzamiento. “La mezcla de peróxido de hidrógeno e hidracina se ha utilizado en la propulsión de cohetes.”<sup>27</sup>

#### **6.4.5 Uso terapéutico.-**

El peróxido de hidrógeno se usa dentro de la terapia biooxidativa, la cual utiliza los principios de las oxidaciones biológicas para traer mejoras al organismo.

En las terapias biooxidativas se utilizan pequeñas cantidades de ozono o de peróxido de hidrógeno diluidas en una solución portadora acuosa a fin de poder administrarlas en el cuerpo y que fluyan junto con las demás formas activas de oxígeno presentes ya en la sangre. Otras vías de administración son la intradérmica, oral o rectal. Una vez introducidos en la circulación, el ozono o el peróxido de hidrógeno se vuelven directa o indirectamente letales para virus, bacterias, hongos, células enfermas o tejidos patogenizados.

Algunas de las enfermedades que se tratan actualmente con peróxido de hidrógeno son:

- Alergias
- Arritmias cardíacas
- Artritis reumatoide
- Asma
- Candidiasis crónica sistémica
- Diabetes mellitus del tipo II
- Dolores de cabeza en general
- Enfermedad de Alzheimer
- Enfermedad de Parkinson
- Enfisema
- Esclerosis múltiple

---

<sup>27</sup> SHARPE, Alan, *Química inorgánica*, 2<sup>da</sup> Edición, Editorial Reverté, Barcelona – España, 1996, p. 431.

A pesar de las bondades que presenta el uso de los oxidantes, estudios muy recientes indican que un efecto colateral de la terapia biooxidativa es que provoca un aumento indeseado en la presencia de radicales libres de oxígeno, los cuales tienen un fuerte efecto oxidante. Pero se ha demostrado que esto se puede contrarrestar de una forma sencilla y natural mediante el uso de agentes antioxidantes del tipo de los alfa tocoferoles (vitamina E), beta caroteno, ácido ascórbico (vitamina C), selenio, etc., administrados en dosis ortomoleculares, con lo cual la aparición de reacciones adversas provocadas por la actividad biológica descontrolada de los radicales libres, queda inhibida completamente.

### **6.5 Almacenaje.-**

El almacenamiento que se le dé al peróxido de hidrógeno dependerá de la concentración en la que se encuentre. En concentraciones de hasta el 70% en peso se puede seguir las siguientes recomendaciones:

- Se debe mantener en un lugar fresco y ventilado, alejado de la luz directa, fuentes de ignición, materiales combustibles y contaminación.
- Los contenedores deben ser revisados buscando signos anormales.
- No se debe mantener el peróxido de hidrógeno en lugares herméticamente cerrados.
- En el caso de presentarse inicio de descomposición, lo cual se nota por el incremento de la temperatura, diluir inmediatamente con agua desionizada.
- Los materiales usados para el almacenamiento del peróxido de hidrógeno deben ser compatibles con el mismo.

A continuación se presentan los materiales y sustancias incompatibles con el peróxido de hidrógeno:

**Tabla 12.-** Materiales y sustancias incompatibles con el peróxido de hidrógeno.

MATERIALES INCOMPATIBLES CON $H_2O_2$	SUSTANCIAS INCOMPATIBLES CON $H_2O_2$
Latón	Alcoholes (metanol, etanol, glicerol)
Cobre	Ácidos carboxílicos (acético, fórmico, tartárico)
Níquel	Anhídrido acético
Hierro y acero dulce	Acetona
Bronce	Anilina
Gomas sintéticas	Nitrometano
Polipropileno	Materia orgánica combustible (sólida o líquida)
Zinc	Metales (plata, cromo, manganeso, plomo, platino)

**Fuente:** <http://www.solvaychemicals.us/static/wma/pdf/6/6/0/5/HH-2323-sp.pdf>

Los materiales más recomendados para su almacenamiento son:

- Aluminio: Aleaciones de pureza mínima de 99,5%
- Acero inoxidable de tipos 304, 304L, 316, 316L

Otros materiales aceptables son:

- Vidrio para sustancias químicas
- Cerámica para sustancias químicas
- Politetrafluoretileno (PTFE; Teflón®)
- Polietileno (alta densidad, reticulado, sin pigmento y estabilizado con rayos ultravioletas)
- PVC (sistemas temporales solamente)

Para impedir que el peróxido de hidrógeno se descomponga, es muy importante notar que todas las superficies de contacto sean no porosas, suaves y lo más libre de impurezas posibles.

En el caso de tanques de almacenamiento es importante que sean recipientes atmosféricos. Cada uno debe contar con una ventilación continua diseñada apropiadamente para desprender pequeñas cantidades de oxígeno que son normalmente liberadas por el peróxido de hidrógeno y permitir que el aire de desplazamiento entre libremente sin materia arrastrada.

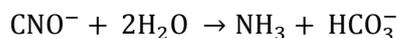
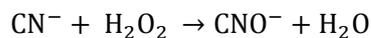
## CAPÍTULO VII

### PERÓXIDO DE HIDRÓGENO COMO TRATAMIENTO PARA LA ELIMINACIÓN DE CIANUROS DEL AGUA.

#### 7.1 Fundamento químico.-

El cianuro libre en solución puede transformarse a formas menos tóxicas mediante la degradación natural, precipitación, recuperación de cianuro, adsorción sobre carbón activado y oxidación, siendo este último el más aplicado.

En la industria el peróxido de hidrógeno es ampliamente usado, pues al ser un fuerte agente oxidante degrada al cianuro transformándolo en cianato, el cual es mucho menos tóxico. Posteriormente el cianato se hidroliza a amoníaco y bicarbonato, mediante las siguientes reacciones:



#### 7.2 Características del proceso.-

El proceso de degradación del cianuro mediante el peróxido de hidrógeno fue aplicado en primera instancia por Degussa, una empresa de remediación ambiental que ha realizado varios estudios comparativos con respecto a este proceso. Para obtener tasas de reacción más altas y mejores eficiencias del peróxido de hidrógeno se pueden agregar otros químicos a la reacción, como: cationes de cobre, formaldehído o ácido sulfúrico. Los cationes de cobre se comportan como catalizadores de la reacción, pero pueden ser consumidos por los aniones de ferrocianuro que precipitan; el cianuro reacciona con el formaldehído formando glicol-nitrilo, el cual se convierte en ácido glicol-amida en presencia de peróxido de hidrógeno.

Comparado con otros procesos de oxidación existen ventajas y desventajas en el uso de este método de oxidación del cianuro. Dentro de las ventajas encontramos:

- El exceso de reactivo (peróxido de hidrógeno) se descompone en agua y oxígeno.
- Es relativamente fácil de operar.
- No es tan reactivo con el tiocianato.

La desventaja que presenta es:

- “Si se da precipitación de cianuros con el cobre, se debe disponer del precipitado adecuadamente.”<sup>28</sup>

### **7.3 Parámetros que influyen en el tratamiento.-**

Existen algunos parámetros de los que depende la oxidación del cianuro con peróxido de hidrógeno entre ellos están: el pH, la temperatura, el tiempo de retención, la presencia de sólidos suspendidos y de complejos de cianuro. A continuación se describen los más importantes, que han sido considerados dentro de nuestro trabajo de tesis.

#### **7.3.1 pH.-**

Para llevar a cabo el proceso de oxidación del cianuro es necesario mantener un pH alcalino que debe estar preferentemente entre 9-10, para evitar la liberación de ácido cianhídrico en forma de gas, el cual es altamente tóxico, siendo una concentración de 300ppm en el aire suficiente para matar a un adulto.

---

<sup>28</sup>COLORADO STATE UNIVERSITY – Geotechnical Engineering Program, *Tailings and mine waste '96: proceedings of the Third International Conference on Tailings and Mine Waste*, Volumen 1, Editorial Taylor & Francis, Colorado – USA, 1996, p. 529.

### 7.3.2 Temperatura.-

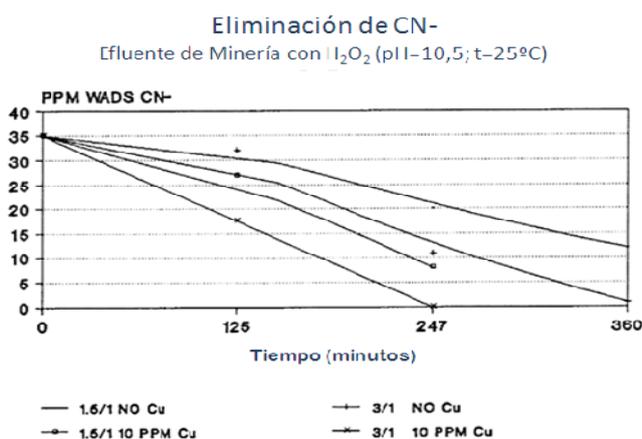
La temperatura es uno de los parámetros que se pueden variar dentro de esta reacción para incrementar su rendimiento. Teniendo influencia sobre el tiempo de reacción necesario para que se dé la reacción.

“El tiempo de reacción depende de la temperatura de trabajo, a 40-50°C y trabajando a un pH de 9, en presencia de catalizador, se puede estimar un tiempo de reacción de 2 horas.”<sup>29</sup>

### 7.3.3 Tiempo de retención.-

La reducción más significativa de la concentración de cianuro por oxidación con peróxido de hidrógeno se da dentro de los primeros minutos de la reacción, pero en las siguientes horas sigue presentándose. Siendo así que la mayor eficiencia se presenta dentro de la primera hora. A continuación se presenta un gráfico de la reducción de cianuro en aguas residuales de procesos mineros, en un período de 6 horas.

**Ilustración 37.-** Reducción de cianuro según tiempo de retención.



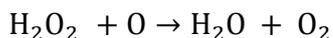
**Fuente:** <http://www.fmforet.com/Portals/FMCForetTO/Content/Docs/Agua/Cianuros/Oxidaci%C3%B3n%20de%20Cianuros%20BT.pdf>

<sup>29</sup>RODRÍGUEZ, Roberto, y otros, *Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente*, 1ª Edición, Editorial IGME, Madrid – España, 2006, p. 350.

Como observamos la caída de concentración de cianuro se sigue dando después de la primera hora. La eficiencia del proceso también depende de los catalizadores que se adicionen a la reacción. En este caso se encuentran presentes pequeñas concentraciones de cobre.

#### **7.4 Beneficios medioambientales.-**

El uso del peróxido de hidrógeno es excepcionalmente favorable desde el punto de vista medioambiental, debido a que los productos formados durante la reacción no son tóxicos, no contribuye al contenido de sales del agua, a diferencia de la mayoría de químicos usados para este tipo de tratamiento y el exceso del agente oxidante no tiene efectos perjudiciales en cauces de agua, debido a que se descompone en sustancias inofensivas como son el agua y el oxígeno, por la siguiente reacción:



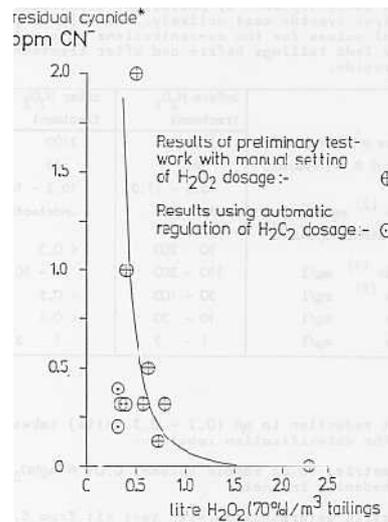
##### **7.4.1 Eficiencia obtenida en la reducción del cianuro.-**

El uso de peróxido de hidrógeno para el tratamiento de los residuos altamente concentrados con cianuro es muy eficaz, ya que se pueden reducir varios miles de ppm a menos de 100 ppm. La tasa de eliminación del cianuro con peróxido de hidrógeno varía de horas a minutos, dependiendo de la naturaleza del cianuro, ya sea que se encuentre formando complejos o libre, las condiciones de tratamiento (pH y temperatura) y la presencia de otros componentes en las aguas residuales.

Se puede añadir ión cobre a esta reacción como un catalizador, si es que no está presente en la solución. Con el peróxido de hidrógeno, los compuestos débiles de cianuro son divididos en sus componentes y los ferrocianuros son precipitados por el cobre como un precipitado insoluble y estable. El exceso del ión cobre también precipita como un hidróxido insoluble.

Las velocidades de degradación indican una reducción del contenido de cianuro en más del 95% en un tiempo de 4 h.

**Ilustración 38.-** Resultados de una planta piloto de trabajo para reducción de cianuro.



**Fuente:** [http://www.mining.ubc.ca/mlc/conf\\_workshops/Cyanide/Chapter519.pdf](http://www.mining.ubc.ca/mlc/conf_workshops/Cyanide/Chapter519.pdf)

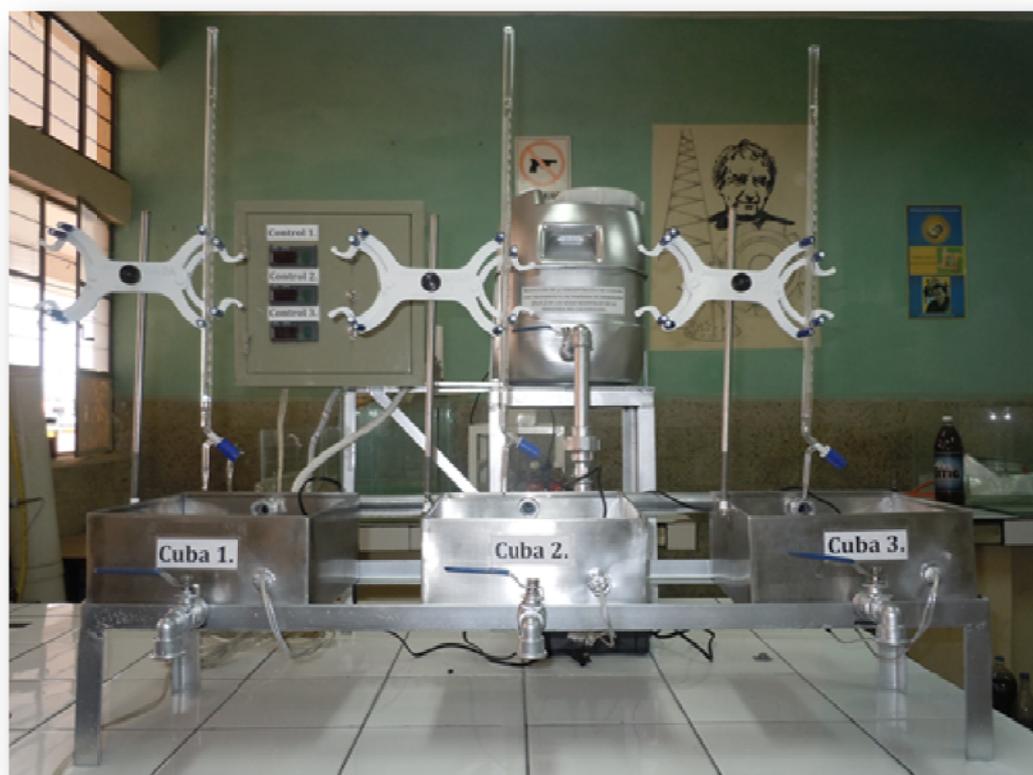
## PARTE II

### I. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 1.1 Construcción del sistema de tratamiento para oxidación de cianuro libre.-

El sistema se encuentra conformado por tres cubas de tratamiento, cada una de las cuales funciona independientemente excepto por la distribución del agua a tratar (Anexo A).

**Ilustración 39.-** Sistema de tratamiento.



**Fuente:** Las Autoras

### 1.1.1 Sistema de distribución del agua residual industrial.-

En la parte posterior y superior del sistema se encuentra un tanque con una capacidad de 20 litros, el mismo que distribuye el agua a través de una tubería hacia las tres cubas de tratamiento. Para controlar la salida de agua se colocó una llave de paso de acero inoxidable 304 de 3 pulgadas.

**Ilustración 40.-** Tanque de distribución del agua residual.



**Fuente:** Las Autoras.

### 1.1.2 Cubas de tratamiento.-

Las cubas para el tratamiento del agua residual fueron construidas con acero inoxidable tipo 304, el cual pertenece a los aceros austeníticos, cuya naturaleza es no magnética, son muy dúctiles y presentan excelente soldabilidad. Contiene básicamente 18% de cromo y 8% de níquel, con un tenor de carbono limitado a un máximo de 0,08%. Este tipo de acero es de gran aplicación en las industrias químicas, ya que presenta gran resistencia a la corrosión, razón por la cual escogimos este tipo de acero para evitar que exista cualquier tipo de reacción con los químicos utilizados en el tratamiento.

Las cubas fueron diseñadas para contener un volumen de 5 litros y poseen las siguientes dimensiones y características:

- Base = 25cm x25cm
- Altura= 10 cm.
- 2 Orificios de entrada y salida = 3 pulgadas
- 2 Orificios con recubrimiento para el sensor y la niquelina

**Ilustración 41.-** Cuba de tratamiento.



**Fuente:** Las Autoras.

### **1.1.3 Mecanismo de agitación.-**

Para agitar el agua y permitir la correcta homogenización del reactivo, utilizamos una bomba de agua sumergible con las siguientes especificaciones:

- Voltaje: 230/115V
- Potencia: 5.5W
- Flujo: 300l/H
- Peso: 400g
- Tamaño: 60x45x75mm

**Ilustración 42.-** Bomba de agua sumergible.



**Fuente:** Las Autoras.

#### **1.1.4 Sistema de control de temperatura.-**

Está conformado por un controlador digital, que consta de un sensor y una niquelina para regular la temperatura. El mismo mantendrá la temperatura pre – programada en la pantalla.

**Ilustración 43.-** Sistema de control de temperatura.



**Fuente:** Las Autoras.

## **1.2 Operación del sistema de tratamiento.-**

El sistema funciona de la siguiente manera:

1. Se procede a llenar el tanque con la solución patrón previamente preparada.
2. Se abre la llave de paso y se distribuye el agua hacia las tres cubas.
3. Una vez que las cubas llegan a la capacidad de 5 litros, se cierra la llave.
4. Se encienden las bombas para la agitación del agua.
5. Cuando se realizan los ensayos con temperatura de 26°C se programan los controladores digitales para mantener constante la temperatura del agua.
6. Se procede a agregar el peróxido de hidrógeno tomando en cuenta el minuto preciso en el que fue adicionado.
7. Cuando ha pasado el tiempo de reacción se procede a apagar las bombas y el controlador digital de temperatura.
8. Al final de cada ensayo experimental se procede a determinar el pH de las aguas.
9. Se toma la muestra en un frasco esterilizado de 500 ml., enjuagándolo 3 veces en el agua tratada para homogenizarlo.
10. Después de esto se almacenan las muestras a 4°C y cubiertas en su totalidad con papel aluminio hasta el momento de llevarlas al laboratorio para su análisis.
11. Finalizado el tratamiento se extraía una muestra adicional y se la dejaba en reposo por un día para verificar la existencia de algún tipo de sedimento.

## **II. MATERIALES Y REACTIVOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO**

### **2.1 Materiales.-**

1. Balón de aforo de 500ml.
2. Vasos de precipitación de 250ml.
3. Termómetro ambiental.
4. Tiras para medición de pH.
5. Mortero.
6. Varillas de agitación.
7. Balanza analítica con precisión de 0,1 mg.
8. Tanque de 100 litros.
9. Lunas de reloj.
10. Probeta de 100ml.
11. Pipetas.
12. Papel aluminio (protección de las muestras contra los rayos UV).
13. Frascos estériles para muestras de orina.
14. Refrigerador (para evitar la degradación de las muestras).
15. Cooler.
16. Cronómetro.

### **2.2 Reactivos.-**

#### **2.2.1 Peróxido de hidrógeno.-**

El peróxido de hidrogeno empleado en nuestro proyecto de tesis tiene una concentración de 130 volúmenes y en peso de 48%, pertenece a la casa comercial LABORATORIOS PARACELSO. A continuación se enumeran las características principales de este compuesto, a ser consideradas:

- Oxígeno activo, por peso: 23,5
- Punto de congelación:  $-52^{\circ}\text{C}$
- Punto de ebullición:  $150^{\circ}\text{C}$

**Ilustración 44.-** Peróxido de hidrógeno de 130 volúmenes.



**Fuente:** Cortesía Laboratorios Parcelso.

### 2.2.2 Cianuro de sodio.-

El cianuro de sodio ( $\text{NaCN}$ ) empleado en la elaboración de la solución patrón, posee las siguientes características:

1. Casa comercial: Taekwang Industry Co., Ltd. (TKI). Korea
2.  $\text{NaOH}$  0.5 Máxima
3.  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  1.0 Máxima
4.  $\text{H}_2\text{O}$  0.5 Máxima
5. Forma: Tipo briquetas, cuyos parámetros de medida individual corresponden a:
  - Peso: 14 gramos.
  - Largo: 34mm.

- Ancho: 32mm.
- Grosor: 15mm.

**Ilustración 45.-** Briquetas de cianuro.



**Fuente:** Las Autoras

Para verificar la pureza del cianuro de sodio empleado en la experimentación se realizaron análisis de soluciones patrón (Anexo B), y con los mismos se determinó que ésta correspondía al orden del 60%, con lo que se estipuló que para un litro de agua la cantidad necesaria es de 1405,3 mg.

### **2.2.3 Sulfato de zinc.-**

Es un compuesto químico cristalino, incoloro y soluble en agua, cuya fórmula es  $ZnSO_4$ , utilizado en la solución patrón como floculante y para brindar la concentración adecuada de zinc que se asemeje a las aguas residuales de la empresa.

**Ilustración 46.- Sulfato de Zinc.**



**Fuente:** Cortesía Freire Mejía Cía. Ltda.

En el medio ambiente se presenta formando parte del mineral goslarita (heptahidrato) y de la bianchita (hexahidrato). Puede prepararse por reacción de zinc o del óxido de zinc con ácido sulfúrico en disolución acuosa.

O por oxidación enérgica del sulfuro de zinc, componente de la blenda.

**2.2.4 Hidróxido de potasio.-**

El hidróxido de potasio es un compuesto químico inorgánico de fórmula KOH, cuya masa molecular es 56 gr/mol, es higroscópico absorbiendo agua de la atmósfera, por lo que termina en el aire libre. Este elemento químico contiene cantidades variables de

agua, su disolución en agua es altamente exotérmica, la temperatura de la disolución aumenta, pudiendo llegar incluso al punto de ebullición.

Se empleó en la solución patrón para mantener su alcalinidad, preservando de esta manera la seguridad de trabajo, puesto que si este parámetro no se mantiene, el ión cianuro reacciona dando ácido cianhídrico, un compuesto altamente tóxico y volátil.

**Ilustración 47.-** Hidróxido de potasio utilizado para mantener el pH alcalino de la solución patrón.



**Fuente:** Las Autoras.

### III. METODOLOGÍA APLICADA

#### 3.1 Selección de los parámetros de tratamiento.-

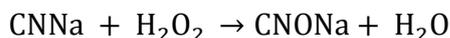
##### 3.1.1 pH.-

De acuerdo con lo establecido en la teoría, el pH adecuado para este tratamiento debe ser siempre alcalino para evitar la liberación de ácido cianhídrico en forma de gas, que es altamente tóxico.

La cantidad de hidróxido de potasio adicionada a la solución patrón, mantuvo el pH en un valor de 10 durante todos los tratamientos.

##### 3.1.2 Concentración de peróxido de hidrógeno.-

Para establecer la cantidad de peróxido de hidrógeno necesaria se efectuó un balance estequiométrico, basado en la siguiente reacción:



Con lo que determinamos que por cada mol de cianuro de sodio (49gr.) se requiere uno de peróxido de hidrógeno(34gr.). Al ser la concentración del ión cianuro de 843,18mg/l necesitamos 0,584gr de peróxido de hidrógenopor litro, siendo nuestras cubas de 5 litros agregamos un volumen correspondiente a 21,4ml de peróxido de hidrógenode 130 volúmenes en cada cuba. Luego de obtener los resultados correspondientes a esta concentración, se procedió a efectuar ensayos con el doble del volumen de peróxido de hidrógeno (42,8ml) para de esta manera determinar la mejor concentración de trabajo.

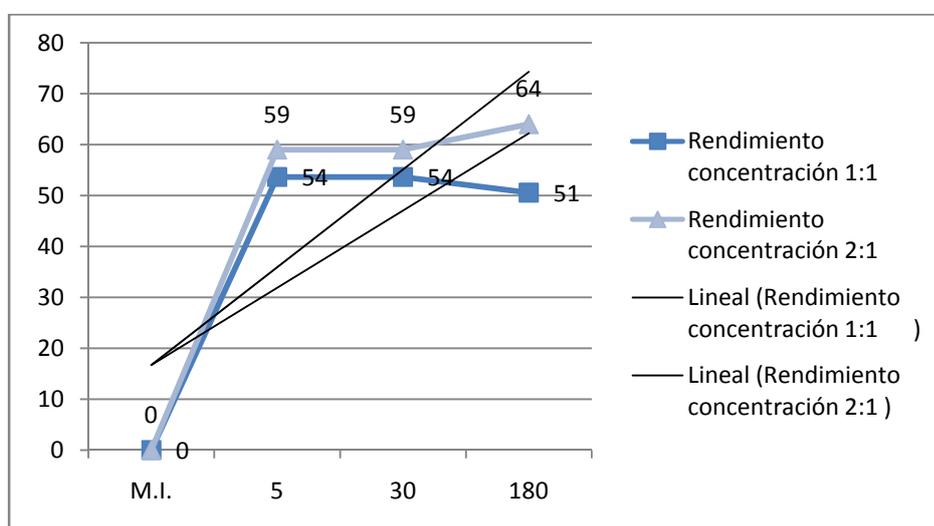
A continuación se presentan los resultados obtenidos con las concentraciones de peróxido de hidrógeno 1:1 y 2:1.

**Tabla 13.-** Resultados de rendimiento a partir de concentraciones 1:1 y 2:1.

TIEMPO DE RETENCIÓN Min	RENDIMIENTO CONCENTRACIÓN 1:1	RENDIMIENTO CONCENTRACIÓN 2:1
5	54	59
30	54	59
180	51	64

**Fuente:** Las Autoras

**Ilustración 48.-** Rendimiento comparado de las concentraciones 1:1 y 2:1.



**Fuente:** Las Autoras.

Como observamos en los resultados de la tabla y de su correspondiente gráfica, para una concentración 1:1 el máximo rendimiento obtenido es de 54%, mientras que para una concentración 2:1 el mayor valor es de 64%.

Motivo por el cual en el modelo de experimentación, utilizamos una concentración 2:1, es decir por cada mol de cianuro de sodio empleamos dos moles de peróxido de hidrógeno.

### 3.1.3 Temperatura.-

Se considero como nivel base la temperatura promedio ambiente de la ciudad de Cuenca, que en conformidad con lo establecido por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología –INAMHI– corresponde a 16° C.

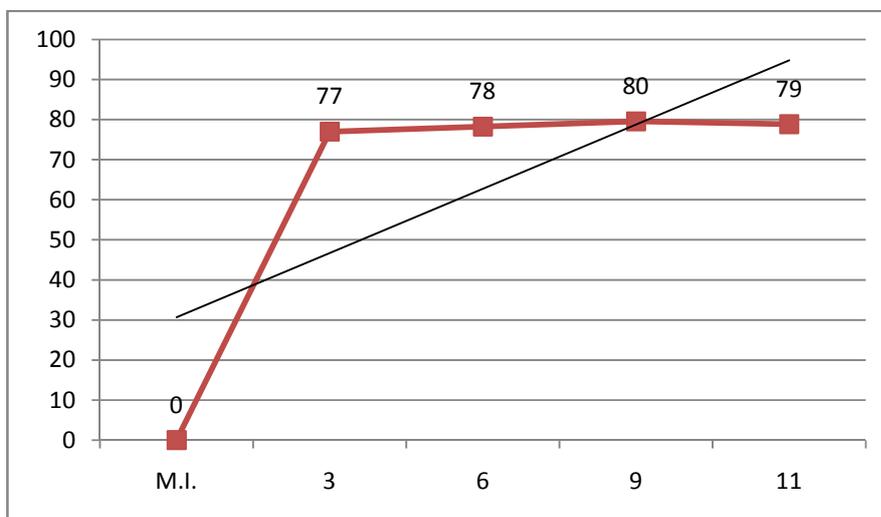
Para determinar el siguiente nivel de investigación se realizaron ensayos aumentando cinco grados a la temperatura promedio, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 14.-** Resultados de las pruebas a 21 °C.

<b>S.P. 3</b>	870,21	
<b>S.P. 4</b>	767,51	
<b>TIEMPO DE RETENCIÓN H</b>	<b>CONCENTRACIÓN DE CIANURO LIBRE ppm</b>	<b>RENDIMIENTO %</b>
3	199,99	77
6	189,18	78
9	156,75	80
11	162,15	79

**Fuente:** Las Autoras.

**Ilustración 49.-**Rendimiento de pruebas para 21°C.



**Fuente:** Las Autoras.

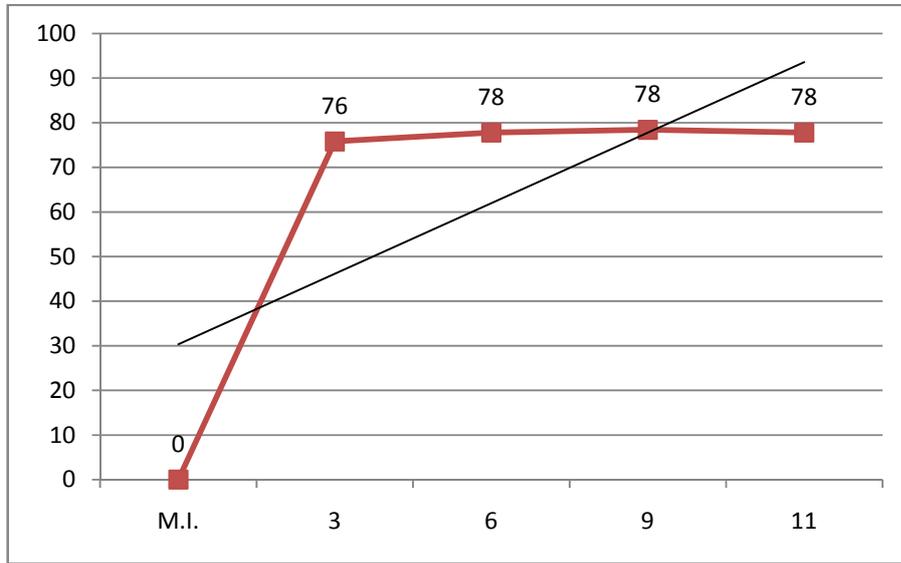
Al evidenciarse que no existe mayor variación del rendimiento en relación a la temperatura ambiente, procedimos a efectuar pruebas aumentando diez grados centígrados. Teniendo en cuenta que la temperatura para descarga de efluentes en alcantarillado público debe ser menor a 40°C.

**Tabla 15.-** Resultados de las pruebas a 26°C.

<b>S.P. 6</b>		826,97
<b>TIEMPO DE RETENCIÓN h</b>	<b>CONCENTRACIÓN DE CIANURO LIBRE ppm</b>	<b>RENDIMIENTO %</b>
3	199,99	76
6	183,77	78
9	178,37	78
11	183,77	78

**Fuente:** Las Autoras.

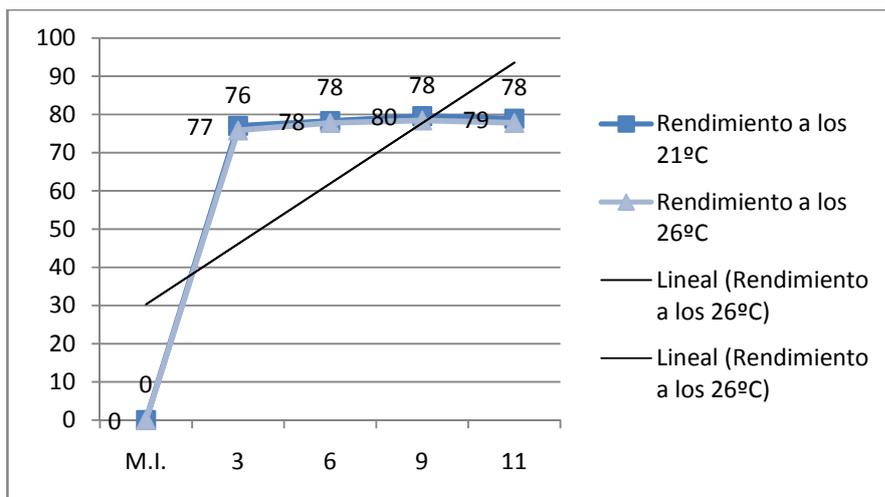
**Ilustración 50.-** Rendimiento de pruebas para 26°C.



**Fuente:** Las Autoras.

Para demostrar las diferencias que existen en el tratamiento entre 21°C y 26°C, se presenta la siguiente gráfica:

**Ilustración 51.-** Rendimiento comparado de pruebas a 21°C y 26°C.



**Fuente:** Las Autoras.

Es indiscutible que el rendimiento en ambas temperaturas presenta resultados muy parejos, sin embargo al darse el tratamiento a 26°C de temperatura existe una pequeña superioridad del rendimiento, por consiguiente se prescribe como el segundo nivel aplicable a este factor.

### 3.1.4 Tiempo de retención.-

Para determinar cómo influye el tiempo de retención en el tratamiento de oxidación, se realizaron ensayos a temperatura ambiente promedio (16°C) a lo largo de 11 horas, tomando muestras en intervalos de tres horas.

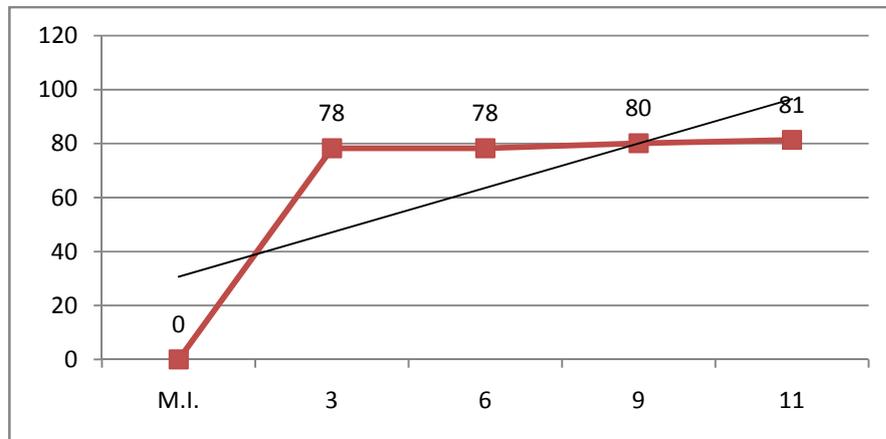
Los resultados se expresan en rendimiento, en relación al testigo de cada prueba (solución patrón) y la concentración de ión cianuro (ppm) obtenida luego del tratamiento.

**Tabla 16.-** Resultados del tiempo de retención a temperatura ambiente durante el transcurso de 11 horas.

<i>S.P. 3</i>	870,21	
TIEMPO DE RETENCIÓN H	CONCENTRACIÓN DE CIANURO LIBRE ppm	RENDIMIENTO %
3	189,18	78
6	189,18	78
9	172,96	80
11	162,15	81

**Fuente:** Las Autoras.

**Ilustración 52.-**Rendimiento de los ensayos para tiempo de retención, pruebas preliminares.



**Fuente:** Las Autoras.

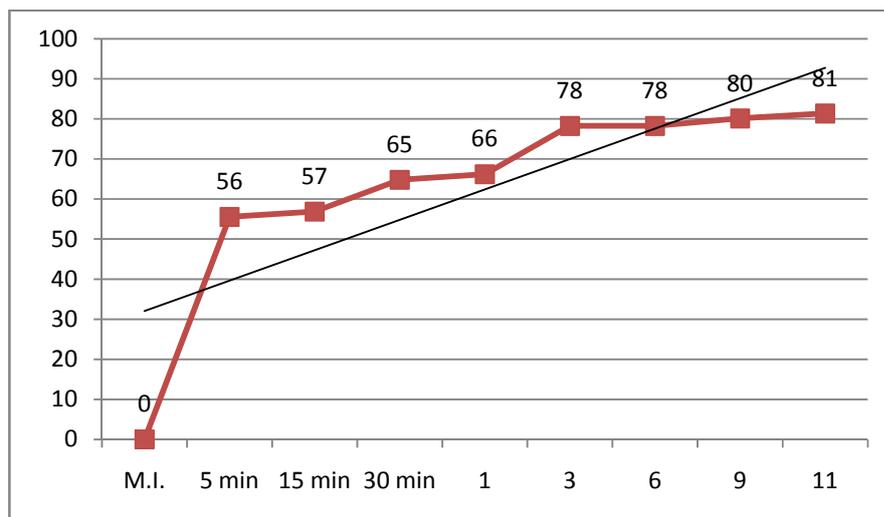
Luego de haber determinado que el mayor rendimiento (del orden del 78%), se produce en las tres primeras horas, y que posterior a esto no existe un aumento significativo de la variable de respuesta, realizamos nuevos ensayos tomando como límite ciento ochenta minutos de tratamiento. Se extrajeron muestras a los cinco, quince, treinta y sesenta minutos. Adjuntando estos datos a la tabla anterior se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 17.-** Tabla general del tiempo de retención a temperatura ambiente, junto con los testigos de cada prueba.

<i>S.P. 3</i>	870,21	
<i>S.P. 4</i>	767,51	
<i>S.P. 7</i>	826,96	
TIEMPO DE RETENCIÓN	CONCENTRACIÓN DE CIANURO LIBRE ppm	RENDIMIENTO %
5 min	367,54	56
15 min	356,73	57
30 min	270,25	65
1	259,44	66
3	189,18	78
6	189,18	78
9	172,96	80
11	162,15	81

**Fuente:** Las Autoras.

**Ilustración 53.-** Resultados de rendimiento para tiempo de retención en el transcurso de once horas.



**Fuente:** Las Autoras.

Como se aprecia en el gráfico el mayor rendimiento se efectúa a los: cinco, treinta y ciento ochenta minutos, estableciendo estos valores como los niveles de tratamiento adecuados para la remoción de cianuro de sodio de las aguas residuales.

### 3.2 Toma de muestras.-

#### 3.2.1 Muestras Referenciales.-

Las muestras de agua fueron tomadas en la empresa Tecnoproducción, ubicada en la zona sur de la ciudad de Cuenca, en las calles Hernando de Magallanes y Felipe II.

**Ilustración 54.-** Georeferenciación con Google Earth del punto de muestreo.



**Fuente:** Las Autoras.

Tecnoproducción es una empresa que cuenta con tres áreas: matricería, producción y zincado, ofreciendo los siguientes servicios:

- Matricería y producción de partes de piezas en serie.
- Diseño y construcción de moldes, matrices y utillajes.
- Inyección de plásticos.
- Servicio de zincado y pavonado electrolítico.
- Construcción y mantenimiento de maquinaria industrial.

El mercado que abarca la empresa lo constituyen las ciudades de Cuenca (INDURAMA, ECUAMUEBLE, VANDERBILT, GEMYASOC), Quito (UMCO S.A.), Guayaquil (ALUBOL) y Ambato (ALUMINIOS HERCULES), generando un nivel de producción de 10 kilos/día de producto galvanizado, con lo que de forma paralela se ha originando una cantidad considerable de aguas residuales.

El punto de muestreo lo constituye el tanque 1, pues contiene el enjuague una vez que el producto sale de los tambores o de la barra catódica, por consiguiente presenta la mayor concentración de cianuro libre. Este tanque es alimentado continuamente por una manguera de agua, que lo mantiene en un determinado nivel para facilitar el proceso.

**Tabla 18.-** Coordenadas UTM del punto de muestreo.

COORDENADAS	UTM (m)	HUSO/HEMISFERIO
UTM Este X	720345	17
UTM Norte Y	9677483	S

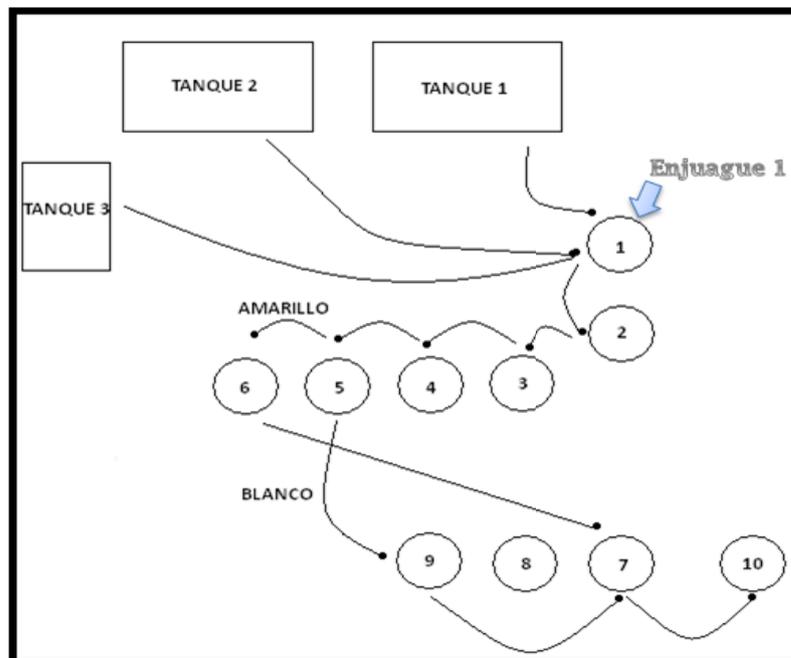
**Fuente:** Las Autoras

**Ilustración 55.-** Punto de muestreo.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

**Ilustración 56.-** Esquema del proceso de zincado y pavonado.



**Fuente:** TECNOPRODUCCIÓN, *Proceso de trabajo y mantenimiento de los tambores para el zincado*, 2011

Se tomaron muestras iniciales de acuerdo al flujo de obtención de asas galvanizadas en tres momentos: baja (Muestra 1), media (Muestra 2) y alta (Muestra 3) producción. De inmediato las muestras fueron transportadas en un cooler con temperatura controlada de 4° C hacia los laboratorios de saneamiento de ETAPA para su respectivo análisis. Como pruebas in – situ se realizó la medición del pH y temperatura del enjuague, dando como resultado un pH medio de 12 y una temperatura media de 14° C, razón por la cual no fue necesario adicionar hidróxido de sodio para la conservación de las muestras. En conformidad con los resultados obtenidos, la concentración media de cianuro libre corresponde a 536.58 ppm y la más alta a 843.18 ppm, está última escogida para el desarrollo del estudio, contemplando el factor de riesgo o seguridad y así evitar que el sistema colapse.(Anexo B).

**Ilustración 57.-** Toma de muestras y pruebas insitu en la empresa.



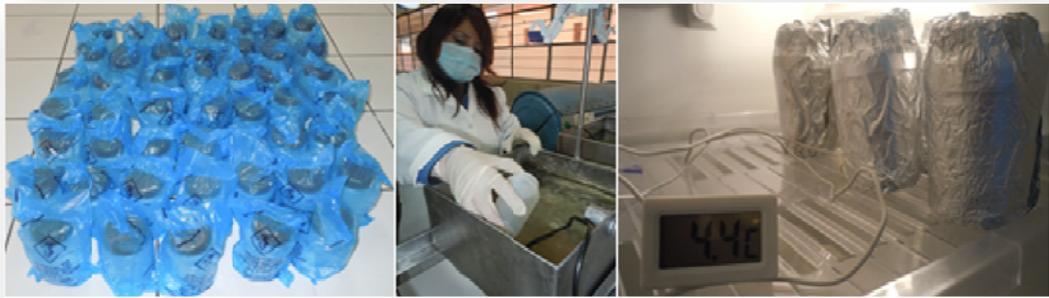
**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

### **3.2.2 Toma de muestras posterior al tratamiento.-**

Al culminar cada uno de los ensayos se tomaron muestras, que fueron tratadas bajo las siguientes restricciones:

- En envases esterilizados y rotulados de acuerdo al siguiente orden: M1, M2, M3,..., M18.
- A una temperatura de 4° C para preservar la muestra.
- Aisladas bajo papel aluminio para evitar el contacto con la luz.
- Transportadas el mismo día de finalizado el tratamiento en un cooler hacia los laboratorios en saneamiento de ETAPA.

**Ilustración 58.-** Toma y almacenamiento de muestras posterior a los ensayos.



**Fuente:** Las Autoras.

### **3.2 Preparación de la solución patrón.-**

Con la finalidad de facilitar el análisis e inferencia estadística se procedió a fabricar una solución patrón que sirvió como testigo para cada grupo de pruebas efectuadas de acuerdo al cronograma. La misma contenía los principales componentes del agua residual de la empresa. Los valores se determinaron conforme a los resultados obtenidos por los laboratorios de saneamiento de ETAPA.(Anexo B).

**Ilustración 59.-** Preparación de la solución patrón.



**Fuente:** Las Autoras

Según los resultados preliminares se consideraron los siguientes componentes: cianuro de sodio, sulfato de zinc e hidróxido de sodio, que para un litro de agua potable se necesitará:

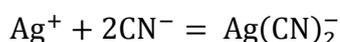
- Cianuro de Sodio: 1405,3 mg.
- Sulfato de Zinc: 569,7 mg.
- Hidróxido de Potasio: 72,06 mg.

Puesto que el cianuro se degrada a temperatura ambiente, la solución patrón se preparó conforme a la cantidad de ensayos a realizar, controlando el pH y temperatura. Se envió una muestra del patrón junto con las aguas tratadas, para su correspondiente análisis y determinación de la cantidad de cianuro libre degradado(Anexo B).

### 3.3 Método de análisis de concentración de cianuro libre.-

Para la determinación de cianuro libre en las aguas residuales de la empresa y de las muestras generadas de cada tratamiento se empleó el método estándar SM-4500-CN-D, aplicable en concentraciones superiores a 1 mg/l (ppm) de cianuro.

El método se basa en la valoración del  $\text{CN}^-$ —ión cianuro— obtenido por titulación con una solución de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) estándar, con la finalidad de lograr la formación del complejo soluble  $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$ , mediante la siguiente reacción:



Previo a este procedimiento la muestra deberá ser diluida utilizando una solución de hidróxido de sodio 0.04 M. Una vez que exista un pequeño exceso de  $\text{Ag}^+$ —ión de plata— en la muestra, se somete a un indicador sensible a la plata p—dimetilamino—benzalrhodanina, que vira inmediatamente del amarillo al color salmón. De la misma forma se titulará el blanco que contendrá la misma cantidad de NaOH de la muestra.

La valoración estequiométrica se efectúa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{mgCN}^-/\text{l} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{ml muestra original}} * \frac{250}{\text{ml porción usada}}$$

donde:

A = ml ( $\text{AgNO}_3$ ) de patrón de la muestra.

B = ml ( $\text{AgNO}_3$ ) para el blanco.

Las muestras de los tratamientos son soluciones que no presentan interferencias significativas y son relativamente transparentes, por lo que el coeficiente de variación es del 2 por 100.

### PARTE III

## RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Una hipótesis se establece provisionalmente como base de una investigación para confirmar o negar su validez mediante un análisis estadístico. Las hipótesis que corresponden a esta investigación son:

**H<sub>0</sub>:** El tratamiento con peróxido de hidrógeno no reduce la concentración de cianuro en las aguas residuales provenientes de la industria del galvanizado.

**H<sub>1</sub>:** El tratamiento con peróxido de hidrógeno reduce la concentración de cianuro en las aguas residuales provenientes de la industria del galvanizado.

En el presente estudio se empleó el paquete estadístico STATGRAPHICS CENTURION 15.2.

El experimento según sus características se acopla a un diseño factorial con dos factores, A: Tiempo de retención y B: Temperatura con  $a$  y  $b$  ( $a, b \geq 2$ ) niveles de prueba y con una variable de respuesta, el cual permite estudiar el efecto individual y de interacción de los mencionados factores.

**Tabla 19.-** Variables de entrada y sus respectivos niveles que intervienen en el estudio.

VARIABLES DE ENTRADA		NIVELES		VARIABLE DE RESPUESTA
NOMBRE	UNIDAD	Nro.	DENOMINACIÓN	
Tiempo de retención	Minutos (min)	3	5, 30, 180	Rendimiento (%)
Temperatura	Grados centígrados (°C)	2	16, 26	

**Fuente:** Las Autoras.

En el análisis se establecen 18 ensayos experimentales, considerando tres réplicas para cada tratamiento, esto con el objetivo de obtener resultados confiables y fidedignos.

**Tabla 20.-** Libro de datos, STATGRAPHICS.

<b>Nro. DE ENSAYOS</b>	<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>TIEMPO DE RETENCIÓN min</b>	<b>RENDIMIENTO %</b>
1	1	2	
2	1	1	
3	1	1	
4	1	1	
5	1	2	
6	1	3	
7	1	2	
8	1	3	
9	1	3	
10	2	2	
11	2	3	
12	2	1	
13	2	1	
14	2	3	
15	2	2	
16	2	3	
17	2	1	
18	2	2	

<b>TEMPERATURA °C</b>	<b>TIEMPO DE RETENCIÓN Min</b>
1 = 16 2 = 26	1 = 5 2 = 30 3 = 180

**Fuente:** Las Autoras

En conformidad con lo mencionado en la elaboración de la solución inicial, los datos para los testigos de las pruebas son:

**Tabla 21.-** Tabla de soluciones patrón empleadas en la experimentación.

SOLUCIÓN PATRÓN		MUESTRAS REALIZADAS A PARTIR DE LA SOLUCIÓN PATRÓN
NOMBRE	CONCENTRACIÓN DE CIANURO LIBRE Ppm	
S.P. 9	816,16	1 a 8
S.P. 10	832,37	9 a 14
S.P. 11	816,16	15 a 18

**Fuente:** Las Autoras.

Los resultados conseguidos a partir del análisis volumétrico de ión cianuro se presentan a continuación (Tabla 24 y 25). Para facilidad del manejo de datos se generó una relación de la cantidad de cianuro libre presente en la solución inicial y en cada una de las muestras (RENDIMIENTO).

**Tabla 22.-** Tabla de resultados.

MUESTRA NRO.	TIEMPO DE RETENCIÓN Min	TEMPERATURA °C	pH	CONCENTRACIÓN ppm	RENDIMIENTO %
1	30	16	10	335,11	59
2	5	16	10	335,11	59
3	5	16	10	318,9	61
4	5	16	10	464,83	43
5	30	16	10	335,11	59
6	180	16	10	297,28	64
7	30	16	10	372,95	54
8	180	16	10	243,23	70
9	180	16	10	227,01	73
10	30	26	10	221,61	73
11	180	26	10	216,2	74
12	5	26	10	227,01	73
13	5	26	10	232,42	72
14	180	26	10	221,61	73
15	30	26	10	275,7	66
16	180	26	10	281,06	66
17	5	26	10	313,49	62
18	30	26	10	286,47	65

**Fuente:** Las Autoras.

**Tabla 23.-** Resumen de resultados.

VARIABLES		CONCENTRACIÓN DE CIANURO LIBRE ppm				RENDIMIENTO DE REMOCIÓN %			
TEMPERATURA °C	TIEMPO DE RETENCIÓN min	R1	R2	R3	PROMEDIO	R1	R2	R3	PROMEDIO
16	5	335,11	318,9	464,83	372,95	59	61	43	54
16	30	335,11	335,11	372,95	347,72	59	59	54	57
16	180	297,28	243,23	227,01	255,84	64	70	73	69
26	5	227,01	232,42	313,49	257,64	73	72	62	69
26	30	221,61	275,7	286,47	261,26	73	66	65	68
26	180	216,2	221,61	281,06	239,62	74	73	66	71

**Fuente:** Las Autoras.

**Tabla 24.-** Tabla de soluciones testigo para determinar el rendimiento.

SIMBOLOGÍA	NOMENCLATURA	CONCENTRACIÓN
	S.P. 9	816,16
	S.P. 10	832,37
	S.P. 11	816,16

**Fuente:** Las Autoras.

A continuación se presentan las tablas y gráficas resultantes para su análisis e interpretación.

**Tabla 25.-** Resumen estadístico de la variable de respuesta (Rendimiento).

Recuento	18
Promedio (Media)	64,7778
Desviación Estándar	8,22876
Coefficiente de Variación	12,7031%
Mínimo	43,0
Máximo	74,0
Sesgo Estandarizado	-1,79061
Curtosis Estandarizada	1,16247

**Fuente:** Las Autoras.

El rango en el que se encuentran los resultados de rendimiento oscilan entre 43% (5 minutos – 16°C) y 74% (180 minutos – 26°C).

La desviación estándar es 8,22 lo que indica que los valores no están muy dispersos con respecto a la media.

El coeficiente de variabilidad señala la relación entre la desviación típica del rendimiento y su media. In vitro un valor superior a 35% genera errores en la interpretación estadística, el valor resultante es 12,7031%.

El sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada poseen un valor de -1,79061 y 1,16247, respectivamente. Lo que indica que los datos provienen de una distribución normal, pues se encuentran dentro del rango -2 a +2.

### 3.1 Análisis de varianza (ANOVA).-

Se ejecutó un ANOVA multifactorial de acuerdo con las siguientes especificaciones:

- Variable dependiente: RENDIMIENTO (%).
- Factores:
  - A: TIEMPO DE RETENCIÓN (min)
  - B: TEMPERATURA (°C).
- Número de casos completos: 18

**Tabla 26.-** Análisis de Varianza para la variable de respuesta.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN -F	VALOR -p
<i>EFFECTOS PRINCIPALES</i>					
A:TIEMPO DE RETENCIÓN	248,444	2	124,222	3,70	0,0562
B:TEMPERATURA	373,556	1	373,556	11,11	<i>0,0060</i>
<i>INTERACCIONES</i>					
AB	125,778	2	62,8889	1,87	0,1962
RESIDUOS	403,333	12	33,6111		
TOTAL (CORREGIDO)	1151,11	17			

**Fuente:** Las Autoras.

El Análisis de varianza –ANOVA–permite comparar las medias poblacionales para elegir de entre las siguientes hipótesis:

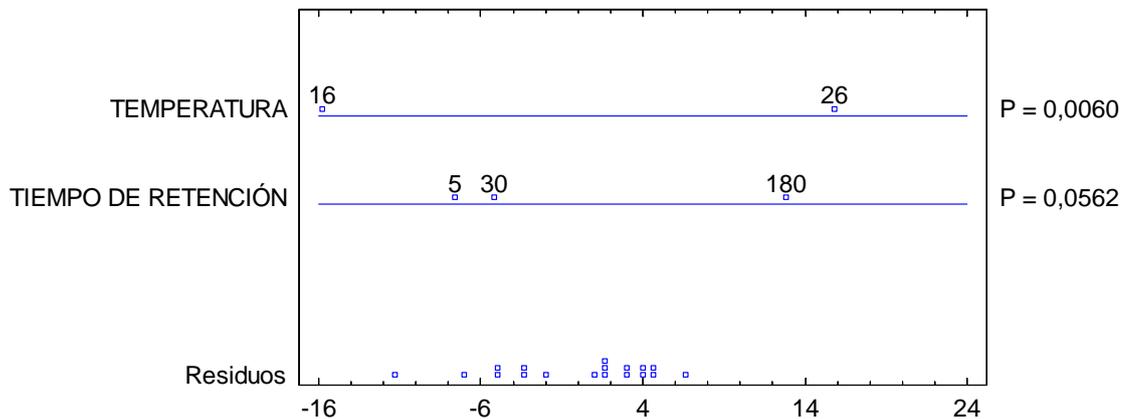
$H_0$ : todas las medias son iguales ( $\mu_A = \mu_B$ )

$H_1$ : las medias no son iguales ( $\mu_A \neq \mu_B$ )

El parámetro para aceptar o rechazar la  $H_0$  es el nivel de significancia o valor-p, si esta expresión es menor a 0,05 nos conduce al rechazo de la misma, tenemos que existe un valor altamente significativo de 0.0060 en el factor B(Temperatura) por lo tanto se acepta la hipótesis 1.

El factor B posee un efecto estadísticamente significativo e influye en la variable de respuesta, mientras que el factor A (0.0562) y la interacción entre ambos factores (0.1962) no presenta significatividad. Lo que se demuestra en el siguiente gráfico:

**Ilustración 60.-** Gráfico de ANOVA.



**Fuente:** Las Autoras.

### 3.2 Pruebas de rango múltiples.-

Las pruebas de rango múltiples nos permiten comparar las medias de los tratamientos y determinar si difieren entre sí. En este caso específico se utilizó el método LSD (Fisher) o diferencia mínima significativa.

### 3.2.1 Rendimiento por tiempo de retención.-

**Tabla 27.-** Grupos homogéneos mediante prueba de rango múltiple, método LSD, factor tiempo de retención.

TIEMPO DE RETENCIÓN	CASOS	MEDIA LS	SIGMA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
5	6	61,6667	2,36682	X
30	6	62,6667	2,36682	X
180	6	70,0	2,36682	X

**Fuente:** Las Autoras.

**Tabla 28.-** Diferencia significativa entre niveles mediante prueba de rango múltiple, método LSD, factor tiempo de retención.

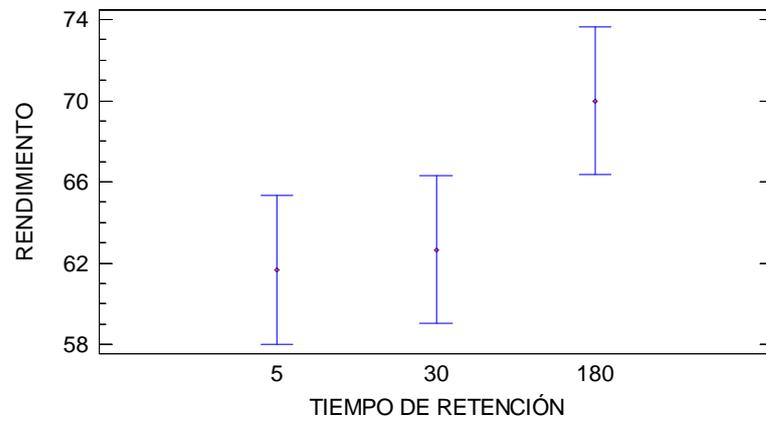
CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
5 – 30		-1,0	7,29292
5 – 180	*	-8,33333	7,29292
30 – 180	*	-7,33333	7,29292

**Fuente:**Las Autoras.

De acuerdo a la alineación de las X's, existen dos grupos homogéneos: 5 y 30 minutos y el grupo heterogéneo corresponde a 180 minutos.

La diferencia entre 5 – 180,30 – 180 minutos es altamente significativa.

**Ilustración 61.-** Gráfico de medias y 95% de Fisher LSD, factor tiempo de retención.



**Fuente:** Las Autoras.

Haciendo una comparación visual podemos observar que:

$$5 = 30$$

$$5 \neq 180$$

$$30 \neq 180$$

Con lo que podemos afirmar que el mayor rendimiento de remoción se consigue al tiempo de 180 minutos.

### 3.2.2 Rendimiento por temperatura.-

**Tabla 29.-** Grupos homogéneos mediante prueba de rango múltiple, método LSD, factor temperatura.

TEMPERATURA	CASOS	MEDIA LS	SIGMA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
16	9	60,2222	1,9325	X
26	9	69,3333	1,9325	X

**Fuente:** Las Autoras.

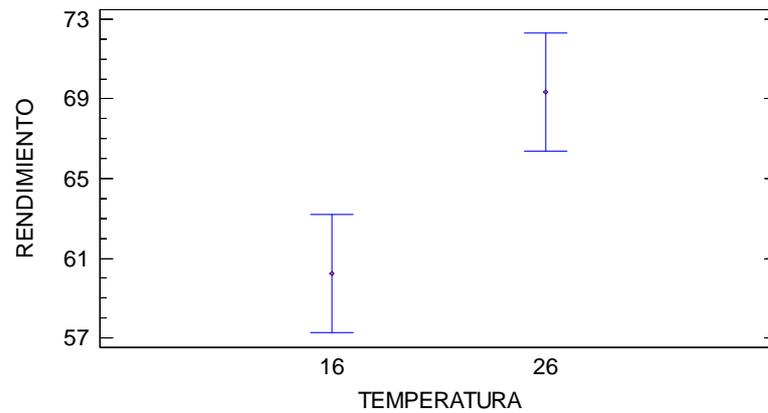
**Tabla 30.-** Diferencia significativa entre niveles mediante prueba de rango múltiple, método LSD, factor temperatura.

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
16 – 26	*	-9,11111	5,95465

**Fuente:** Las Autoras.

Al no existir alineación en la columna de las X's se evidencia la ausencia de grupos homogéneos. Existe una diferencia altamente significativa entre los dos niveles de temperatura.

**Ilustración 62.-** Gráfico de medias y 95% de Fisher LSD, factor temperatura.



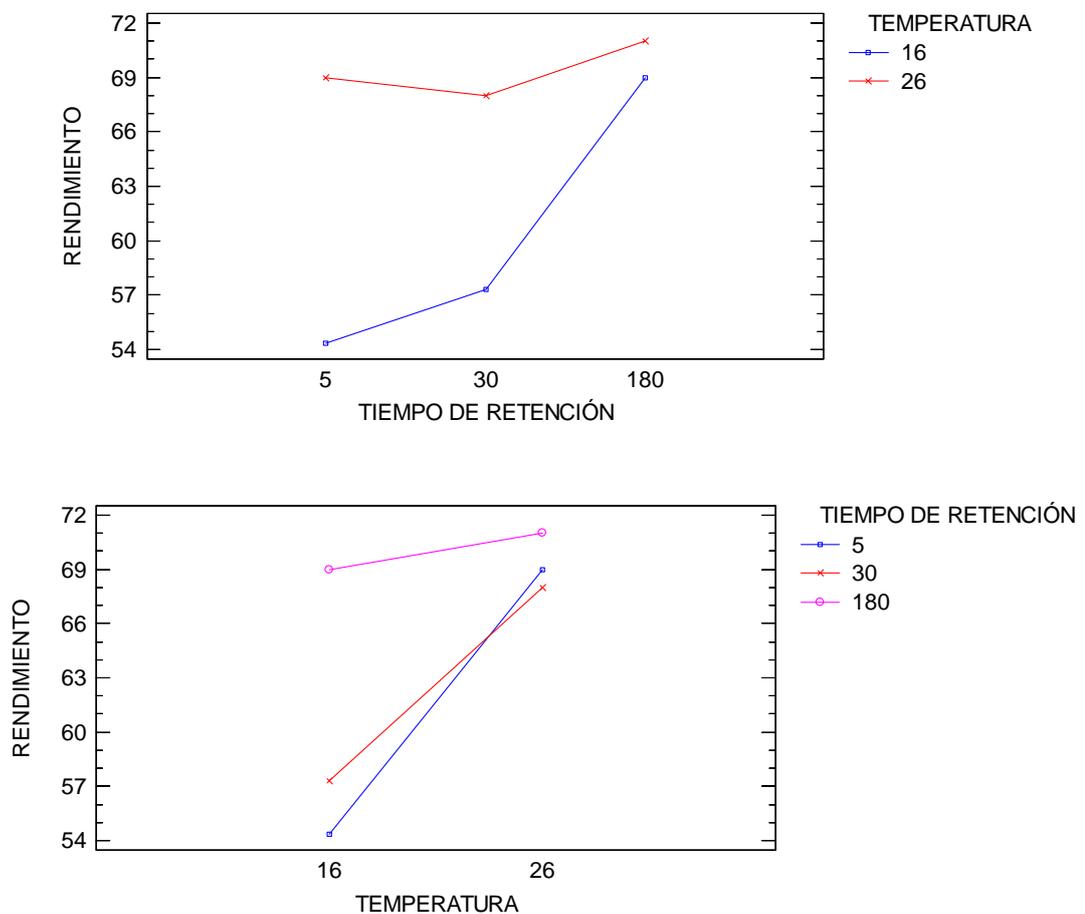
**Fuente:** Las Autoras.

Según el análisis estadístico de este factor, determinamos que a mayor temperatura (26°C) se presenta un mejor rendimiento de remoción.

### 3.3 Interacción.-

Existe un efecto de interacción sobre la variable de respuesta, cuando el efecto de un factor depende del nivel en el que se encuentre el otro. Gráficamente la interacción entre los factores se evidencia por una pendiente diferente que toman las líneas.

**Ilustración 63.-** Gráfico de Interacciones.



**Fuente:** Las Autoras.

Para el gráfico basado en la temperatura se estima que si existe efecto de interacción entre los factores.

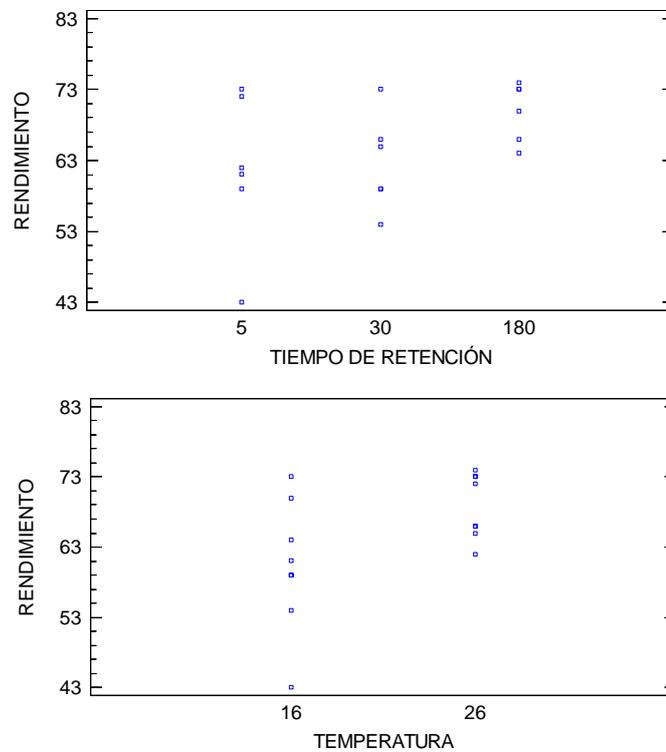
Mientras que para el gráfico de interacción basado en el tiempo de retención, se observa que existen tendencias de pendientes similares entre 5 y 30 minutos, que no presentarían interacción; y difieren del tiempo 180 que representa el mejor resultado.

Se corrobora que el mejor rendimiento se da al tiempo de retención de 180 minutos y a la temperatura de 26°C.

### 3.4 Dispersión.-

Dispersión es la variabilidad de la respuesta en cada punto experimental, detecta la posible presencia de observaciones anómalas, que pueden afectar los resultados y en consecuencia las conclusiones.

**Ilustración 64.-** Gráfico de dispersión.



**Fuente:** Las Autoras.

Existe variabilidad de respuesta en algunos puntos experimentales. La presencia de observaciones atípicas conlleva a posibles errores en los resultados, que de existir se verán evidenciados en la verificación de supuestos del modelo.

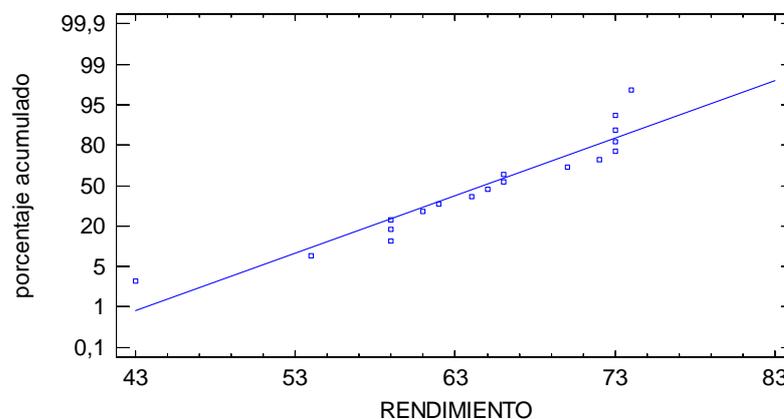
### 3.5 Verificación de los supuestos del modelo.-

Para validar los resultados obtenidos a partir del análisis de varianza es necesario que los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia del modelo se cumplan. Para este fin se utilizan los residuos, los cuales son generados por la diferencia de la respuesta esperada y la observada en cada ensayo experimental.

#### 3.5.1 Supuesto de normalidad.-

La normalidad se representa mediante una gráfica en la cual los residuos tienden a quedar alineados en una línea recta. Cabe recalcar que el ajuste de los puntos no debe ser perfecto.

**Ilustración 65.-** Gráfico de probabilidad normal.



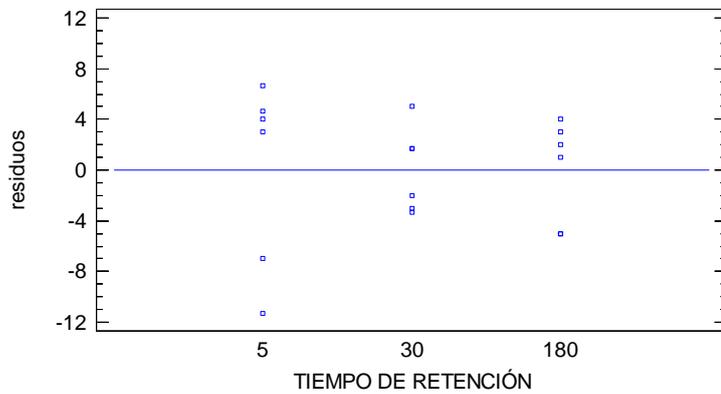
**Fuente:** Las Autoras.

El supuesto de normalidad se cumple, a excepción de dos puntos (aberrantes) que podrían deberse a factores externos.

### 3.5.2 Supuesto de varianza constante.-

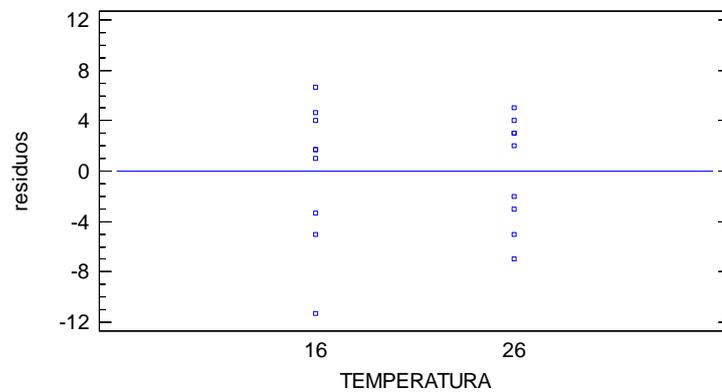
Para verificar que los tratamientos tienen la misma varianza se utiliza la gráfica de residuos vs. niveles de factor. Si los puntos se distribuyen con una amplitud similar, se cumplirá el supuesto.

**Ilustración 66.-** Gráfico de residuos vs. factor tiempo de retención.



**Fuente:** Las Autoras.

**Ilustración 67.-** Gráfico de residuos vs. factor temperatura.



**Fuente:** Las Autoras.

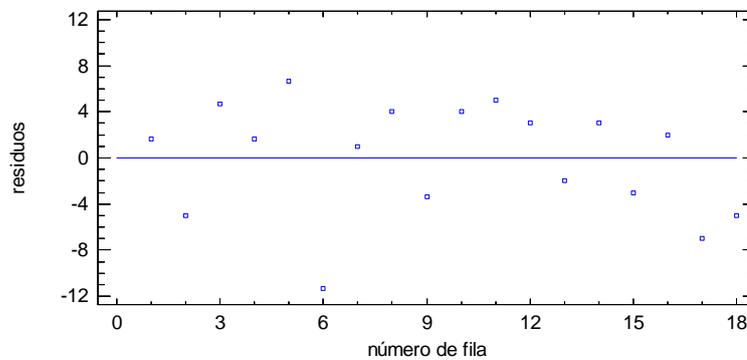
Los datos presentan una dispersión diferente, por lo tanto el supuesto no se cumple.

Mediante el análisis ANOVA, se determinó que el mejor tratamiento es a: 180 min. y 26°C. Si bien el incumplimiento de este supuesto nos lleva a cuestionarnos sobre este análisis, las gráficas 67 y 68 nos muestran que los datos menos dispersos se encuentran en los niveles mencionados, determinando así que la elección realizada es la correcta.

### 3.5.3 Supuesto de independencia.-

La independencia puede verificarse si se grafica el orden en que se colectó un dato contra el residuo correspondiente. Si al graficar en el eje horizontal el número de fila y en el eje vertical los residuos, se manifiesta un patrón no aleatorio en la distribución de los puntos, la independencia no se cumple

**Ilustración 68.-** Gráfico de independencia.



**Fuente:** Las Autoras.

No existe un patrón de dispersión, por lo tanto el supuesto se cumple.

## CONCLUSIONES

- Las fuentes potenciales de contaminación en la industria del galvanizado corresponden a los efluentes del proceso, principalmente a aquellos enjuagues posteriores al baño galvánico, cuyo volumen oscila entre 150 a 200 galones diarios. La concentración de cianuro presente en estos enjuagues supera el límite permisible de descarga al sistema de alcantarillado público, estipulado por la normativa ecuatoriana.
- Basándonos en los resultados obtenidos podemos concluir que el tratamiento con peróxido de hidrógeno sí reduce la concentración de cianuro libre en las aguas provenientes de la industria del galvanizado, por lo tanto se acepta la hipótesis 1.
- La temperatura influyen directamente sobre el tratamiento.
- En relación al tiempo de retención, el nivel que presenta mayor rendimiento es 180 minutos. Con lo que deducimos que a mayor tiempo de retención mayor rendimiento.
- Con respecto a la temperatura el nivel que presenta mayor rendimiento es 26°C, a mayor temperatura mayor rendimiento.
- El uso de soluciones testigo facilitó el cálculo del rendimiento.
- La agitación dentro de las cubas de tratamiento es necesaria para permitir una mezcla homogénea entre el reactivo y el agua a tratar. Logrando de esta manera que todas las moléculas de peróxido de hidrógeno cumplan con su función de agente oxidante, actuando sobre el cianuro de sodio.

- En base a literatura establecida se obtienen mejores resultados, debido a la utilización de catalizadores para la reacción de oxidación como ciertas sales de metales.
- A mayor cantidad de peróxido de hidrógeno agregada al agua, se obtienen mejores rendimientos de remoción; se emplearon dos moles de peróxido de hidrógeno por cada mol de cianuro de sodio.
- Las pruebas para establecer la existencia de sedimentación demostraron ausencia de cualquier material depositado en el fondo de los recipientes.
- Por el cumplimiento de los supuestos del modelo factorial se establece que los resultados presentados en este trabajo de tesis son confiables y fidedignos, puesto que la planeación y ejecución del experimento se llevó a cabo correctamente.

## RECOMENDACIONES

- Operar el sistema con las debidas precauciones, puesto que existe una elevada toxicidad de los reactivos, principalmente el cianuro de sodio y su posible formación de ácido cianhídrico, para lo cual se deberá utilizar el equipo de protección personal como mascarilla, gafas protectoras, guantes y mandil.
- Mantener cubiertos los tanques invitro para evitar posibles degradaciones por efectos de la luz solar, ya que ésta descompone el cianuro de sodio cuando está expuesto al aire.
- Controlar las variables que influyen directamente en el tratamiento: pH, tiempo de retención y temperatura para lograr mayores rendimientos.
- La temperatura de tratamiento debe ser inferior a 40°C para no sobrepasar los niveles establecidos en la normativa vigente.
- La adición del peróxido de hidrógeno debe realizarse en su totalidad al inicio de cada ensayo, puesto que según pruebas preliminares un método de goteo no es viable, ya que inhibe la acción del factor tiempo de retención.
- Trabajar a mayores concentraciones de peróxido de hidrógeno para obtener mejores rendimientos y lograr el cumplimiento de la normativa aplicable para efluentes de descarga al sistema de alcantarillado público.
- Elaborar cantidades considerables de solución patrón para disminuir al mínimo los errores producidos por el pesaje de los reactivos.
- Posicionar las llaves en la base de las cubas para facilitar la evacuación total de las aguas.
- Para mejorar el modelo aplicado se recomienda aumentar el número de repeticiones.

## PROYECCIÓN FUTURA

La presente investigación es importante dentro del ámbito de las aguas negras urbanas, pues enfoca su estudio en una fuente representativa de cianuro de sodio, que no ha sido considerada anteriormente en nuestro medio, con esto se sienta un precedente para que se realicen estudios de los impactos que genera la industria galvánica.

Aplicados a una empresa los resultados de esta investigación con respecto a la temperatura del agua no son factibles, puesto que elevarla en grandes volúmenes representa una fuerte y constante inversión. En lo que se refiere al mejor nivel en tiempo de retención, es viable, pues de acuerdo al volumen de efluente generado, el pozo séptico requerido no ocuparía un espacio significativo y se podría dar el tratamiento al final del día.

Para cumplir con el límite permisible de descarga de cianuro al sistema de alcantarillado público, se debería realizar un estudio con mayores concentraciones de peróxido de hidrógeno a las usadas en esta investigación.

Una alternativa para recuperar a mediano plazo los recursos invertidos en la aplicación de este tratamiento, es la construcción de un sistema de recirculación del agua de los enjuagues lo que se trasluciría en un ahorro económico para la empresa.

Aspiramos que en futuros estudios se evalúen nuevas técnicas para tratar el resto de contaminantes generados por la industria galvánica, que en las concentraciones en las que se presentan también son de importancia con respecto a su nivel de toxicidad, y así lograr un tratamiento integral de los efluentes de este tipo de industria.

# ANEXOS

# **ANEXO A**

**DISEÑO DEL PROTOTIPO  
DEL SISTEMA DE  
OXIDACIÓN DE CIANUROS  
POR PERÓXIDO DE  
HIDRÓGENO.**

# **ANEXO B**

**INFORME DE  
RESULTADOS; ANÁLISIS  
DE LA CONCENTRACIÓN  
DE CIANURO LIBRE,  
LABORATORIO DE  
SANEAMIENTO DE ETAPA**

## 1. Solución patrón.-

 <b>ETAPA</b> ENTIDAD MUNICIPAL DE ASEO Y LIMPIEZA CORPORACIÓN MUNICIPAL DE ASESORIA Y SERVICIOS <b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 2890418 - 2890463	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
---	------------------------------	---------------

FECHA: 2011/07/01

INFORME N°: 299/11

### CLIENTE

NOMBRE: SRTA. VALERIA FAREZ  
DIRECCIÓN: Hernando Leopulla V-29 - Cuenca

### MUESTRA

CODIGO: 299/01/11  
DESCRIPCIÓN: Agua de proceso de galvanizado  
PROCEDENCIA: Tecnoproducciones  
FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/06/28  
ENTREGADAS POR: Srta. Valeria Farez

### RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	AGUA DE PROCESO DE GALVANIZADO 299/01/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/06/28	mg/l	843.18

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,



Ing. Yolanda Torres Moscoso  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

 <b>ETAPA</b> <small>ORGANISMO NACIONAL DE REGULACIONES TECNICAS</small> <b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
--	------------------------------	---------------

FECHA: 2011/07/15

INFORME N°: 317/11

**CLIENTE**

NOMBRE: SRTA. VALERIA FAREZ  
 DIRECCIÓN: Hernando Leopulla V 29 - Cuenca

**MUESTRA**

CODIGO: 317/01/11  
 DESCRIPCIÓN: Efluente de proceso de galvanizado  
 PROCEDENCIA: Tecnoproducción  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/07/06  
 ENTREGADAS POR: Srta. Valeria Farez

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	EFLUENTE PROCESO DE GALVANIZADO 317/01/11
ALCALINIDAD TOTAL	SM 2320 B	2011/07/06	mgCaCO3/l	3819.07
BICARBONATOS	SM 2320 B	2011/07/06	mgCaCO3/l	0
CARBONATOS	SM 2320 B	2011/07/06	mgCaCO3/l	3747.02
HIDROXIDOS	SM 2320 B	2011/07/06	mgCaCO3/l	72.06
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/07/06	mg/l	570.77
SUST. SOLUBLES AL HEXANO	SM 5520 D	2011/07/06	mg/l	1333.20
ZINC	SM/3120/ICP	2011/07/14	mg/l	569.7

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,



Ing. Yolanda Torres Moscoso  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

 <p><b>ETAPA</b>  <small>SISTEMAS INTEGRADOS DE TECNOLOGÍAS AMBIENTALES,  CONSULTORIA, ASesoramiento y COMERCIALIZACIÓN</small></p> <p><b>LSGA</b></p> <p>LABORATORIO DE LA SUBGERENCIA DE GESTION AMBIENTAL  Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca  Telf : 2890418 - 2890463</p>	<p><b>INFORME DE RESULTADOS</b></p>	<p>Página 1 de 1</p>
---	-------------------------------------	----------------------

FECHA: 2010/10/20

INFORME Nº: 581/10

**CLIENTE**

NOMBRE: Srta. Priscila Landi  
DIRECCIÓN: Paccha

**MUESTRA**

CODIGO: 581/01/10  
DESCRIPCIÓN: Efluente de proceso  
PROCEDENCIA: Tecnoproducción  
FECHA DE RECEPCIÓN: 2010/10/18  
ENTREGADAS POR: Srta. Priscila Landi

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	Efluente de proceso 581/01/10
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2010/10/18	mg/l	195.8
CONDUCTIVIDAD	SM 2510 B	2010/10/18	uS/cm	5020
pH	SM 4500 H B	2010/10/18		11.66

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,



Ing. Yolanda Torres Moscoso  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

## 2. Determinación de variables.-

 <b>ETAPA</b> <small>EMPRESA MUNICIPAL DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE CUENCA</small>	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
<b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568		

FECHA: 2011/08/19

INFORME Nº: 399/11

**CLIENTE**

NOMBRE: Srta. Valeria Farez  
 DIRECCIÓN: Hernando Leopulla 2-29 - Cuenca

**MUESTRA**

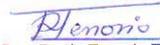
CODIGO: 399/01-06/11  
 DESCRIPCIÓN: Patrón y Agua tratada  
 PROCEDENCIA: Cuenca  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/08/17  
 ENTREGADAS POR: Srta. Valeria Farez

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	SP3 399/01/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/17	mg/l	870.21
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	34 399/02/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/17	mg/l	189.18
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	64 399/03/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/17	mg/l	189.18
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	94 399/04/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/017	mg/l	172.96
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	3H + 5 399/05/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/17	mg/l	199.99
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	6H + 5 399/06/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/17	mg/l	189.18

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,

  
 Dra. Rocio Tenorio Torres  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO (E)

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

 <b>ETAPA</b> <small>EMPRESA MUNICIPAL DE TELECOMUNICACIONES        ANDALUCÍA, EL CENTRO Y LOS BARRIOS</small>	<b>INFORME DE        RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
<b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568		

FECHA: 2011/08/19

INFORME Nº: 402/11

**CLIENTE**

NOMBRE: Srta. Valeria Farez  
 DIRECCIÓN: Hernando Leopulla 2-29 - Cuenca

**MUESTRA**

CODIGO: 402/01-04/11  
 DESCRIPCIÓN: Patrón y Agua tratada  
 PROCEDENCIA: Cuenca  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/08/18  
 ENTREGADAS POR: Srta. Valeria Farez

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	SP4 402/01/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/18	mg/l	767.51

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	9H + 5 402/02/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/18	mg/l	156.75

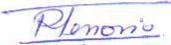
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	11H 402/03/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/18	mg/l	162.15

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	11H + 5 402/04/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/18	mg/l	162.15

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,

  
 Dra. Rocío Tenorio Torres  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO (E)

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

 <b>ETAPA</b> <small>GOBIERNO MUNICIPAL DE TALA (CORPORACIONES  AGUA POTABLE, DE CONTROL Y DE SANEAMIENTO)</small>	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
<b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568		

FECHA: 2011/08/26

INFORME Nº: 410/11

**CLIENTE**

NOMBRE: SRTA. VALERIA FAREZ  
DIRECCIÓN: Hernando Leopulla 2-29 - Cuenca

**MUESTRA**

CODIGO: 410/01-06/11  
DESCRIPCIÓN: Patrón y Agua tratada  
PROCEDENCIA: Cuenca  
FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/08/24  
ENTREGADAS POR: Srta. Adriana Parra

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	SP5 410/01/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/24	mg/l	752.3
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	SP6 410/02/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/24	mg/l	826.97
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	3H + 10 410/03/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/24	mg/l	199.99
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	6H + 10 410/04/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/24	mg/l	183.77
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	9H + 10 410/05/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/24	mg/l	178.37
PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	11H + 10 410/06/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/08/24	mg/l	183.77

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,



Ing. Yolanda Torres Moscoso  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

 <p><b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568</p>	<p><b>INFORME DE RESULTADOS</b></p>	<p>Página 1 de 1</p>
--	-------------------------------------	----------------------

FECHA: 2011/09/02

INFORME N°: 431/11

**CLIENTE**

NOMBRE: SRTA. PRISCILA LANDI  
DIRECCIÓN: Paccha

**MUESTRA**

CODIGO: 431/01-04/11  
DESCRIPCIÓN: Patrón y Agua tratada con cianuro  
PROCEDECENCIA: Universidad Politécnica Salesiana  
FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/09/01  
ENTREGADAS POR: Srta. Priscila Landi

**RESULTADOS**

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	SP7 431/01/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/01	mg/l	826.96

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	SP8 431/02/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/01	mg/l	778.32

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	5M 431/03/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/01	mg/l	367.54

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	15M 431/04/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/01	mg/l	356.73

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,



Ing. Yolanda Torres Moscoso  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

### 3. Pruebas con concentración 1:1.-

 <b>ETAPA</b> <small>ENTIDAD MUNICIPAL DE TILCOMBUENOS</small> <small>INTEGRANDO A SU SERVICIO A LOS CIUDADANOS</small>	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
<b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568		

FECHA: 2011/11/16

INFORME N°: 585/11

**CLIENTE**

NOMBRE: SRTA. ADRIANA PARRA  
 DIRECCIÓN: Urb. El Prado - Cuenca

**MUESTRA**

CODIGO: 585/01-04/11  
 DESCRIPCIÓN: Agua tratada y patrón con cianuro  
 PROCEDENCIA: Universidad Politécnica Salesiana  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/11/14  
 ENTREGADAS POR: Srta. Adriana Parra

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	SP CON 585/01/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/11/14	mg/l	962.09

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	5M CON 585/02/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/11/14	mg/l	445.91

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	30M CON 585/03/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/11/14	mg/l	445.91

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	180M VON 585/04/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/11/14	mg/l	475.64

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,



Ing. Yolanda Torres Moscoso  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

#### 4. Resultados finales.-

 <b>ETAPA</b> <small>EMPRESA MUNICIPAL DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO</small>	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 2
<b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568		

FECHA: 2011/09/08

INFORME N°: 442/11

**CLIENTE**

NOMBRE: SRTA. PRISCILA LANDI  
 DIRECCIÓN: Paccha

**MUESTRA**

CODIGO: 442/01-09/11  
 DESCRIPCIÓN: Patrones y Agua tratada con cianuro  
 PROCEDENCIA: Universidad Politécnica Salesiana  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/09/06  
 ENTREGADAS POR: Srta. Priscila Landi

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	SP9 442/01/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/06	mg/l	816.16

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M1 442/02/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/06	mg/l	335.11

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M2 442/03/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/06	mg/l	335.11

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M3 442/04/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/06	mg/l	318.90

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M4 442/05/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/06	mg/l	464.83

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M5 442/06/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/06	mg/l	335.11

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M6 442/07/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/06	mg/l	297.28

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



**ETAPA**  
EMPRESA MUNICIPAL DE POLICONSTRUCCIONES  
DE LA PROVINCIA DE CUENCA

**LABORATORIO DE SANEAMIENTO**  
Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca  
Telf : 4175557 - 4175568

**INFORME DE  
RESULTADOS**

Página 2 de 2

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M7 442/08/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/06	mg/l	372.95

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M8 442/09/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/06	mg/l	243.23

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,

Ing. Yolanda Torres Moscoso  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



**ETAPA**  
ENTIDAD NACIONAL DE TECNOLOGÍA Y AGUA POTABLE

**LABORATORIO DE SANEAMIENTO**

Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca  
Telf : 4175557 - 4175568

**INFORME DE  
RESULTADOS**

Página 1 de 1

FECHA: 2011/09/09

INFORME N°: 449/11

**CLIENTE**

NOMBRE: SRTA. PRISCILA LANDI  
DIRECCIÓN: Paccha

**MUESTRA**

CODIGO: 449/01-07/11  
DESCRIPCIÓN: Patrones y Agua tratada con cianuro  
PROCEDENCIA: Universidad Politécnica Salesiana  
FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/09/08  
ENTREGADAS POR: Srta. Priscila Landi

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	SP10 449/01/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/08	mg/l	832.37

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M9 449/02/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/08	mg/l	227.01

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M10 449/03/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/08	mg/l	221.61

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M11 449/04/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/08	mg/l	216.20

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M12 449/05/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/08	mg/l	227.01

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M13 449/06/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/08	mg/l	232.42

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M14 449/07/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/08	mg/l	221.61

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,

Ing. Yolanda Torres Moscoso  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

 <b>ETAPA</b> <small>EMPRESA NACIONAL DE FOLIOS Y ORGANIZACIONES</small> <b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
---	----------------------------------	---------------

FECHA: 2011/09/12

INFORME N°: 455/11

**CLIENTE**

NOMBRE: SRTA. PRISCILA LANDI  
DIRECCIÓN: Paccha

**MUESTRA**

CODIGO: 455/01-05/11  
DESCRIPCIÓN: Patrones y Agua tratada con cianuro  
PROCEDENCIA: Universidad Politécnica Salesiana  
FECHA DE RECEPCIÓN: 2011/09/09  
ENTREGADAS POR: Srta. Priscila Landi

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	SP11 455/01/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/09	mg/l	816.16

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M15 455/02/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/09	mg/l	275.70

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M16 455/03/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/09	mg/l	281.06

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M17 455/04/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/09	mg/l	313.49

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	M18 455/05/11
CIANURO LIBRE	SM 4500 CN D	2011/09/09	mg/l	286.47

SM: STANDARD METHODS, Edición 21

Atentamente,



Ing. Yolanda Torres Moscoso  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.

# **ANEXO C**

## **MEMORIA FOTOGRÁFICA**

- I. Baños electrolíticos de zinc con tambor giratorio empleados para recubrir piezas pequeñas y medianas. Empresa Tecnoproducción.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

- II. Extracción del producto de los tambores una vez transcurrido el tiempo necesario para su recubrimiento.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

**III.** Enjuague posterior al baño de zincar.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

**IV.** Secado de piezas a temperatura ambiente.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

- V. Enjuagues del proceso de zincado y anodizado. Identificación del punto de muestreo en la empresa Tecnoproducción.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

- VI. Toma de muestras del agua residual de la empresa para la determinación de los parámetros de la solución patrón.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

**VII.** Medición de temperatura y pH en el punto de muestreo.

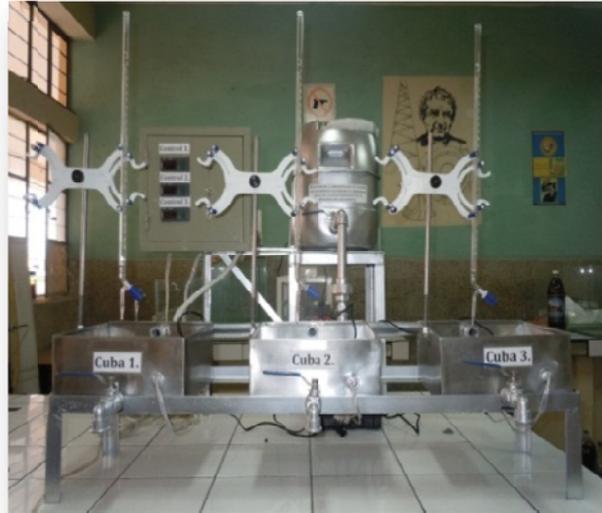


**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.



**Fuente:** Cortesía Tecnoproducción.

- VIII.** Construcción del sistema conformado por: tanque distribuidor, cubas de acero inoxidable, equipo de control de temperatura, bombas para agitación, buretas para la adición de la solución de peróxido de hidrógeno.



**Fuente:** Las Autoras.



**Fuente:** Las Autoras.

- IX.** Preparación de la solución patrón por aforación de sus componentes: hidróxido de sodio, sulfato de zinc y cianuro de sodio, mediante la adición de agua potable.



**Fuente:** Las Autoras.

- X.** Abastecimiento del tanque colector con la solución patrón.



**Fuente:** Las Autoras.

**XI.** Distribución del agua a tratar hacia las cubas.



**Fuente:** Las Autoras.

**XII.** Calibración de los controladores digitales para mantener la temperatura adecuada de tratamiento.



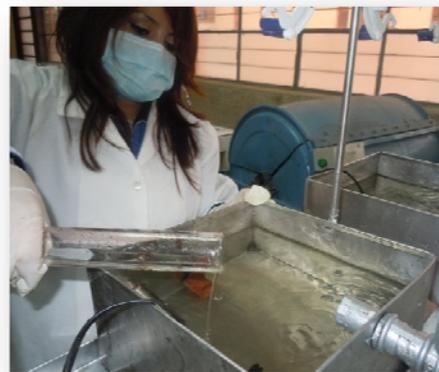
**Fuente:** Las Autoras.

**XIII.** Sistema en funcionamiento.



**Fuente:** Las Autoras.

**XIV.** Adición de la solución de peróxido de hidrógeno en cada una de las cubas.



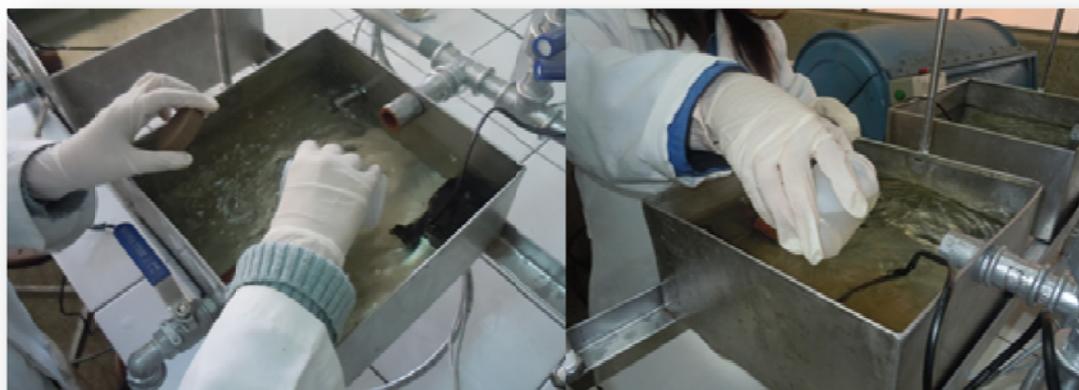
**Fuente:** Las Autoras.

**XV.** Control del pH en cada ensayo.



**Fuente:** Las Autoras.

**XVI.** Toma de muestra una vez concluido el tratamiento.



**Fuente:** Las Autoras.

**XVII.** Almacenamiento de las muestras previo su análisis.



**Fuente:** Las Autoras.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALTMAN, Nathaniel, *Terapias de oxígeno: para una óptima salud y vitalidad*, 1<sup>ra</sup> Edición, Editorial InnerTraditions / Bear & Co, México Distrito Federal – México, 1996.
- APHA, y otros, *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*, 17<sup>ava</sup> Edición, Editorial Díaz Santos S.A., Madrid – España, 1992.
- BAUTISTA, Carmen, *Aguas guía técnico – jurídica*, Editorial Mundi – Prensa, Madrid – España, 2003.
- CASTILLO, Francisco, *Biotecnología ambiental*, Editorial Tebar, Madrid – España, 2005.
- CORBITT, Robert, *Manual de referencia de la ingeniería medioambiental*, Editorial Mc Graw Hill, Madrid – España, 2003.
- CORPORACIÓN DE ESTUDIOS Y PUBLICACIONES, *Legislación ambiental, control y prevención de la contaminación Tomo V*, 1<sup>era</sup> Edición, Quito, septiembre de 2009, p. 35.
- DAWES, Ch. L., *Electricidad industrial*, Editorial Reverté S.A., Barcelona – España, 1981.
- FERRER, Carlos y AMIGÓ, Vicente, *Tecnología de materiales*, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia – España, S.F.
- FUNDACIÓN NATURA, *Potencial impacto ambiental de las industrias en el Ecuador. Exploración preliminar y soluciones*, Editorial Fundación Natura, Quito – Ecuador, 1991.

- GABE, D.R., *Fundamentos del tratamiento y protección de superficies metálicas*, Editorial Alhambra S.A., España, 1975.
- GARRIDO PERTIERRA, Armando, y otros, *Fundamentos de bioquímica estructural*, 2<sup>da</sup> Edición, Editorial Tébar S.L., Madrid – España, 2006.
- GILLESPIE, Ronald J., y otros, *Química*, 1<sup>ra</sup> Edición, Editorial Reverté, Barcelona – España, 1990.
- GONZÁLEZ, Francisco, *Nomenclatura de química orgánica*, Volumen 35, Editorial Editum, Murcia – España, 1991.
- GONZÁLES, José, *Teoría y práctica de la lucha contra con la corrosión*, Madrid – España, 1984.
- GRANIZO, Evelio, *Lenguaje C- teoría y ejercicios*, 2<sup>da</sup> Edición, Editorial Ediespe, Quito – Ecuador, 1999.
- GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto, *Análisis y Diseño de Experimentos*, 2<sup>da</sup> Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2008.
- INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA, *Agua, ambiente y desarrollo en el siglo XXI*, Instituto mexicano de tecnología del agua, de México, 2003.
- KRAUSE, Hugo, *Análisis y control de baños y recubrimientos en galvanotecnia*, Editorial José Montesó, Barcelona – España, 1962.
- LINDNER, Ernest, *Toxicología de los alimentos*, 2<sup>da</sup> Edición, Editorial Acriba, Zaragoza – España, 1995.
- LUND F. Herbert, *Manual para el control de la contaminación industrial*, Editorial Mc. Graw Hill, Madrid – España, 2000.

- MAMANI, Wálter, y otros, *Agua e impactos por actividad hidrocarburífera en Aguaragüe*, 1<sup>era</sup> Edición, Editorial Offset Boliviana Ltda., La Paz – Bolivia, 2003.
- MARTÍNEZ, Rosa, *Metabolismo del nitrógeno*, Editorial Club Universitario, España, 2009.
- “Propiedades Físicas del Agua”, AUTODIDACTICA OCEANO COLOR, Oceano Grupo Editorial S.A., Barcelona - España, Volumen 4, S.F.
- RAMOS, Raudel, y otros, *El agua en el medio ambiente, muestreo y análisis*, 1<sup>era</sup> Edición, Editorial Plaza y Valdéz editores, México Distrito Federal – México, 2003.
- RICO GALICIA, Antonio, y otros, *Química I: Agua y oxígeno*, 3<sup>era</sup> Edición, México Distrito Federal – México, 2008.
- RODRÍGUEZ, R. y GARCÍA CORTÉS, A, *Los residuos minero – metalúrgicos en el medio ambiente*, España, 2009.
- TOLEDO, Alejandro, *Agua, hombre y paisaje*, 1<sup>era</sup> Edición, Instituto nacional de ecología, México, marzo de 2006.
- TORTOLERO VILLASEÑOR, Alejandro, *El agua y su historia México y sus desafíos hacia el siglo XXI*, 1<sup>era</sup> Edición, Editorial Siglo XXI, México Distrito Federal – México, 2000.
- URREAGA, Joaquín, y otros, *Experimentación en química general*, 1<sup>ra</sup> Edición, Editorial Paraninfo, Madrid – España, 2006.
- VERA, Roberto, *Temas de construcción*, 2<sup>da</sup> Edición, Editorial Club Universitario, España, 2003.
- WEBER J., Walter Jr., *Control de la calidad de agua – Procesos fisicoquímicos*, Editorial Reverté S.A., España, 2003.

→ YÚFERA, Eduardo, *Química orgánica básica y aplicada: de la molécula a la industria*, Volumen 1, Editorial Reverté, Barcelona – España, 1996.

**Publicaciones:**

→ GRIFFITHS,A., y otros, *The detoxification of gold-mill tailings with hydrogen peroxide*, Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, Sudáfrica, 1987.

→ YOUNG, C.A, y otros, *Cyanide remediation: current and Past technologies*, Department of Metallurgical Engineering, Montana 2001.

## PÁGINAS WEB

- [http://www.asocam.org/biblioteca/ECOBANA\\_0167.pdf](http://www.asocam.org/biblioteca/ECOBANA_0167.pdf): LEY NO. 37. RO/ 245 DE 30 DE JULIO DE 1999. LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL.
- [http://www.sagan-gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/9agua.html](http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/9agua.html)
- <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
- [http://www.sapadlr.gob.mx/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45&Itemid=55](http://www.sapadlr.gob.mx/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=55)
- <http://water.usgs.gov/gotita/waterproperties.html>
- [http://www.sagan-gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/31agua.html](http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/31agua.html)
- <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/EC01903M.pdf>
- <http://ambiental.uaslp.mx/docs/PMM-AP021017.pdf>
- [http://www.cid.harvard.edu/archive/andes/documents/workingpapers/environmentalrsgscompetitiveness/envcostofdoingbusiness/determinantes\\_desempeno\\_ambiental\\_industriaecuatoriana.pdf](http://www.cid.harvard.edu/archive/andes/documents/workingpapers/environmentalrsgscompetitiveness/envcostofdoingbusiness/determinantes_desempeno_ambiental_industriaecuatoriana.pdf)
- [http://www.unav.es/ocw/ecologiaing0708/Tema%25208%2520Contaminacion%2520del%2520agua%252007.pdf&sa=U&ei=hfdvTpvdI8XUgQfR8pGTBQ&ved=0CBEQFjAD&usq=AFQjCNGACv214mB\\_cixJv10\\_1g6-gSe0KQ](http://www.unav.es/ocw/ecologiaing0708/Tema%25208%2520Contaminacion%2520del%2520agua%252007.pdf&sa=U&ei=hfdvTpvdI8XUgQfR8pGTBQ&ved=0CBEQFjAD&usq=AFQjCNGACv214mB_cixJv10_1g6-gSe0KQ)
- [http://www.sagan-gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/24agua.html](http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/24agua.html)
- <http://www.gbi-fijaciones.cl/catalogo/tornillos/Definiciones%20y%20descripci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20Galvanizado.htm>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Galvanizado>
- [http://www.construmatica.com/construpedia/Distintas\\_Formas\\_de\\_Proteger\\_con\\_Zinc](http://www.construmatica.com/construpedia/Distintas_Formas_de_Proteger_con_Zinc)
- <http://www.istas.net/fittema/att/reanxf.htm>
- <http://www.minambiente.gov.co/documentos/galvanot%C3%A9cnia.pdf>
- [www.mvotma.gub.uy](http://www.mvotma.gub.uy)

- <http://es.thefreedictionary.com>
- [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs8.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.html)
- <http://www.cima-galvano.com.ar/Protocolos/131.pdf>
- [http://www.congresocolombianodemineria.com/descargar\\_memoria.php?a=30](http://www.congresocolombianodemineria.com/descargar_memoria.php?a=30)
- [http://seia.sea.gob.cl/archivos/19a\\_capitulos\\_2\\_y\\_3.pdf](http://seia.sea.gob.cl/archivos/19a_capitulos_2_y_3.pdf)
- [http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/degradacion\\_cianuro\\_sodio](http://www.ingenieriaquimica.org/articulos/degradacion_cianuro_sodio)
- <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49614904>
- <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20596/Capitulo2.pdf>
- <http://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>
- <http://www.cryoinfra.com/aplicaciones/item/73-destrucci%C3%B3n-de-cianuro-asistida-con-o2>
- <http://www.solvaychemicals.us/static/wma/pdf/6/6/0/5/HH-2323-sp.pdf>
- [http://taekwang.co.kr/english/pro/pro\\_01\\_042.htm](http://taekwang.co.kr/english/pro/pro_01_042.htm)
- [http://extranet.minem.gob.pe/guiaregional/index\\_html?ls\\_preguntaID=310](http://extranet.minem.gob.pe/guiaregional/index_html?ls_preguntaID=310)
- <http://ranf.com/pdf/discursos/ina/1954.pdf>
- [http://www.t3quimica.com/pdfs/36i\\_aigua\\_oxigenada.pdf](http://www.t3quimica.com/pdfs/36i_aigua_oxigenada.pdf)
- <http://www.solvaychemicals.us/static/wma/pdf/6/6/0/5/HH-2323-sp.pdf>
- [http://dyna.unalmed.edu.co/ver\\_articulo.php?id\\_articulo=AG140505&tipo=articulo&id=149](http://dyna.unalmed.edu.co/ver_articulo.php?id_articulo=AG140505&tipo=articulo&id=149)
- <http://www.tutorvista.com/content/chemistry/chemistry-iii/hydrogen/hydrogen-peroxide-properties.php>
- <http://www.bioline.org.br/request?se05025>

- Instituto Ecuatoriano de Normalización, Transporte, almacenamientos y manejo de productos químicos peligrosos. Requisitos, Año 2000, [www.aseplas.org/contenido/servicios/INEN/2266.pdf](http://www.aseplas.org/contenido/servicios/INEN/2266.pdf).
- LOGSDO, Mark J., y otros, El manejo del cianuro en la extracción de oro, Abril del 2001.  
[http://www.caem.com.ar/files/El%20Manejo%20del%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.caem.com.ar/files/El%20Manejo%20del%20cianuro%20(ICMM).pdf)  
<http://issuu.com/dennisaurio/docs/cianuro#download>

## GLOSARIO

**Ácidos polipróticos.-** Son sustancias ácidas cuyas moléculas contienen en su estructura más de un hidrógeno. Constituyen ejemplos los ácidos sulfhídrico, carbónico, sulfúrico y fosfórico.

**Agentes tensoactivos.-** Son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases (por ejemplo, el detergente afecta a la tensión superficial de los líquidos).

**Agentes emulsionantes.-** Sustancia química que permite que la grasa se fraccione en pequeños glóbulos que quedan en suspensión en un medio acuoso.

**Amalgamado.-** En química, es la mezcla homogénea de dos o más metales.

**Amigdalina.-** Es un compuesto presente en la semilla de la almendra. En el interior de nuestro cuerpo se convierte en glucosa, bezaldehído y en cianuro de hidrógeno. Este producto es comercializado como una droga anticancerígena.

**Austeníticos.-** Tipo de acero inoxidable que presenta elevada resistencia a la corrosión.

**Debye:** unidad de momento dipolar eléctrico. Igual a  $10^{-18}$  statcoulomb centímetro o  $3,33564 \times 10^{-30}$  culombio metro.

**Dinitrógeno.-** El nitrógeno molecular o dinitrógeno es generalmente conocido sólo como nitrógeno es una molécula diatómica homonuclear formada por dos átomos de nitrógeno.

**Hidrocarburos aromáticos policíclicos.-** Grupo con más de 100 compuestos orgánicos diferentes que contienen varios anillos bencénicos. Algunos de ellos son persistentes y cancerígenos. Los HAP se forman normalmente durante la quema incompleta del carbón, el petróleo, el gas, la basura y otras sustancias orgánicas como el tabaco o la carne a la brasa.

**Hidrolizar.-** Es el proceso que sufren las sustancias cuando interactúan con el agua, bien descomponiéndose, disolviéndose o modificando su estructura.

**Interfase.-** Intervalo entre dos fases sucesivas.

**LC50.-** Es la cantidad de un material determinado completo de una sola vez, que provoca la muerte del 50% la mitad de un grupo de animales de prueba y es la forma de medir el envenenamiento potencial.

**Liposolubilidad.-** La liposolubilidad es la capacidad de relacionarse lo mejor posible con la bicapa lipídica.

**Mutagénesis.-** Proceso y capacidad de producción de mutaciones por los diversos agentes mutágenos.

**Nitroprusiato.-** Es una sustancia compleja, formada por hierro, grupos de cianuro y un grupo nitroso, utilizada para el tratamiento de crisis hipertensivas porque provoca una potente vasodilatación tanto de las arterias como de las venas.

**Ortomolecular:** Es proporcionar al organismo humano la materia prima molecular correcta: las moléculas con una estructura y forma correcta, en cantidad y proporciones

correctas, para lograr un estado y funcionamiento fisiológico óptimo de los billones de células que componen los tejidos, órganos y aparatos, del cuerpo humano.

**Periglaciares.**-En geomorfología se refiere a procesos geomórficos creados por el congelamiento de agua en hielo y a las áreas en donde estos procesos operan.

**Permafrost.**- La etimología de permafrost viene del inglés (*permanent* = permanente y *frost* = congelado). Es la capa de hielo permanentemente congelado en los niveles superficiales del suelo.

**pK<sub>a</sub>** . Es la fuerza que tienen las moléculas de disociarse (logaritmo negativo de la constante de disociación de un ácido débil).

**Ralentiza.**- Hacer lenta una actividad o proceso, o disminuir su velocidad.

**Tiocianato.**- Los tiocianatos son un grupo de compuestos formados de una combinación de azufre, carbono y nitrógeno.

**Terapia biooxidativa:** Procedimiento terapéutico de la medicina biológica, cuyo principio se basa en las oxidaciones biológicas para traer mejoras en el organismo.

**Teratogénesis.**-Estudio de las condiciones de producción y de desarrollo de las monstruosidades.