

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE PIEZAS DE ACERO
PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA
DISMINUIR LA PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS BOEHLER
DEL ECUADOR S.A.”**

Realizado por:

YADIRA DEL CARMEN LUNA ESTRADA

Director del proyecto:

Ph.D. MIGUEL MARTÍNEZ-FRESNEDA MESTRE

Como requisito para la obtención del título de:
MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, 27 de julio de 2016

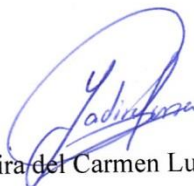
**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Declaración juramentada del autor.

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, YADIRA DEL CARMEN LUNA ESTRADA, con cédula de identidad # 100299728-4, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente



Yadira del Carmen Luna Estrada

100299728-4

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Declaraciones firmadas del Director y los profesores evaluadores

Con los datos del trabajo realizado y la declaración de que éste trabajo ha sido realizado por el autor bajo la guía del director y que ha sido evaluado por los profesores informantes:

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE PIEZAS DE ACERO
PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA
DISMINUIR LA PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS BOEHLER
DEL ECUADOR S.A.”**

Realizado por:

YADIRA DEL CARMEN LUNA ESTRADA

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTION AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

Ph.D. MIGUEL MARTÍNEZ-FRESNEDA MESTRE

quién considera que constituye un trabajo original de su autor

Ph.D. Miguel Martínez-Fresneda Mestre
DIRECTOR

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

ING. WALBERTO GALLEGOS

ING. JEFFERSON RUBIO

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa
oral ante el tribunal examinador



Ing. Walberto Gallegos



Ing. Jefferson Rubio

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

DEDICATORIA

El presente proyecto de tesis dedico a mis padres Jesús Luna e Isaura Estrada quienes han sido mi apoyo día tras día en cada etapa de mi vida, sin ellos no sería posible este logro.

De manera especial este trabajo lo dedico a mi madre ISAURA ESTRADA quien con su amor, dedicación, constancia y ejemplo me ha impulsado a cumplir mis metas.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres y hermana por nunca dejar en cada momento de estar ahí, y por demostrarme apoyo incondicional para alcanzar este logro.

A la Empresa ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. por permitirme desarrollar este proyecto y por la confianza depositada en mí, en especial a la Dra. Perla Rodríguez y por el apoyo constante al personal de Tratamientos Térmicos.

Agradezco de manera especial a mi gran amigo Edgar Farinango por una vez más haber demostrado su amistad incondicional y por el gran apoyo brindado en el desarrollo de la parte experimental del proyecto de Tesis.

A la Universidad Internacional SEK por permitirme desarrollar como profesional y por los docentes calificados que me han inculcado conocimientos para desenvolverme en el campo industrial

A los ingenieros Miguel Martínez-Fresneda, Walberto Gallegos y Jefferson Rubio por haber sido una guía para el desarrollo del proyecto de tesis.

A mis amigos de Maestría con quien compartí esta etapa importante en mi vida y con quienes no solo disfrutamos de las aulas sino de una linda amistad.

A mis amigos que sé que se alegran por este logro, en especial a Danny Suárez con quien he compartido momentos que han hecho que mi vida sea diferente.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

INDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	DESCRIPCIÓN DEL TEMA A DESARROLLAR	1
1.2	ANTECEDENTES	3
1.3	IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	5
1.4	OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS A ALCANZAR.....	6
1.4.1	Objetivo general	6
1.4.2	Objetivos específicos.....	6
1.5	CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO	7
2	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1	ESTUDIOS PREVIOS ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.....	8
2.2	MARCO LEGAL	10
2.3	MARCO CONCEPTUAL	12
2.3.1	Tratamiento de Aguas Residuales.....	12
2.3.2	Cianuros	12
2.3.2.1	Cianuro libre.....	13
2.3.2.2	Cianuro total	13
2.3.2.3	Ácido Cianhídrico (HCN)	13
2.3.2.4	Cianuro de Sodio	14
2.3.2.5	Compuestos simples de cianuro	14
2.3.2.6	Compuestos complejos de cianuro	15
2.3.2.7	Compuestos derivados del cianuro	15
2.3.3	Oxidación Química.....	15
2.3.4	Oxidación del Cianuro	16
2.3.4.1	Oxidación con Peróxido de Hidrógeno H ₂ O ₂	16
2.3.4.2	Oxidación por cloración alcalina	18
2.3.5	Coagulación y Floculación	19
2.3.5.1	Coagulación.....	19

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

2.3.5.2	Floculación	20
3.	METODOLOGÍA	23
3.1	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO DE GABINETE.....	23
3.1.1	Selección de agentes oxidantes para la oxidación química del cianuro	23
3.1.2	Selección de parámetros a medir en muestras de agua residual y en agua tratada	23
3.1.3	Determinación de las variables dependientes, independientes y constantes para los muestreos (tratamiento de agua residual).....	25
3.1.4	Determinación del tamaño de muestras del agua residual y número de ensayos para el tratamiento del agua residual y variables a considerar	26
3.1.5	Determinación de volúmenes de muestras a tratar y obtención de dosificaciones del agente oxidante.	28
3.1.6	Aplicación de químicos para clarificación del agua tratada.....	30
3.1.7	Diseño experimental del proyecto	32
3.2	PROCEDIMIENTO DE CAMPO	33
3.2.1	Toma de muestras del agua residual del tanque de lavado de piezas de acero de la empresa Aceros Boehler del Ecuador S.A.....	33
3.3	PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO	37
3.3.1	Tratamiento químico de agua residual mediante oxidación química	38
3.3.2	Clarificación del agua tratada químicamente.....	44
3.4	TRATAMIENTO DE DATOS	48
3.4.1	Tratamiento de datos del agua residual sin tratar	48
3.4.2	Tratamiento de datos del agua residual tratada mediante oxidación química	49
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
4.1	RESULTADOS DE LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL.....	51
4.2	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL MEDIANTE OXIDACIÓN QUÍMICA.....	55
4.3	RESULTADOS DE CLARIFICACIÓN DEL AGUA TRATADA MEDIANTE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN	79
4.4	APLICACIÓN ESTADÍSTICA DE ANOVA	80
4.5	TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL PARA LA EMPRESA ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. Y PRE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	84

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

4.5.1	Selección del tratamiento de oxidación química de cianuros adecuado para el agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.	84
4.5.2	Evaluación del costo del tratamiento de agua residual para la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A, en base al método de oxidación química seleccionado y el método de clarificación.....	84
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
5.1	CONCLUSIONES	90
5.2	RECOMENDACIONES.....	92
6.	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	93

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz toma de muestras agua residual.....	26
Tabla 2: Matriz de Ensayos Experimentales por Agente Oxidante.....	28
Tabla 3: Dosificaciones de Agentes Oxidantes.....	30
Tabla 4: Químicos a dosificar para la clarificación del agua tratada.....	31
Tabla 5: Matriz de Ensayos Tratamiento Químico de Agua Residual con H₂O₂ (30%).....	41
Tabla 6: Matriz de Ensayos Tratamiento Químico de Agua Residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O	43
Tabla 7: Matriz de Ensayos Tratamiento de Agua Residual con NaClO (10%).....	44
Tabla 8: Gráficos de Tendencia	48
Tabla 8: (Continuación).....	49
Tabla 9: Gráficos de Barras	49
Tabla 10: Gráficos de Barras comparativos	50
Tabla 11: Parámetros físico-químicos de las muestras de agua residual según Anexo1.....	51
Tabla 12: Medias de las variables medidas después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) según Anexo 6.....	55
Tabla 13: Medias de las variables medidas después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O según Anexo 7	62
Tabla 14: Medias de las variables medidas después del tratamiento del agua residual con NaClO según Anexo 8	68
Tabla 15: % Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%), a T=24°C y 700rpm.....	75
Tabla 16: % Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O, a T=24°C y 700rpm.	76
Tabla 17: % Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con NaClO (10%), a T=24°C y 700rpm.....	78
Tabla 18: Resultados de Color y Turbidez según Anexo 5.....	79
Tabla 19: Resultados de ANOVA de Cianuros Totales del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) según Anexo 6.....	80
Tabla 20: Resultados de ANOVA de Conductividad del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) según Anexo 6.....	80
Tabla 21: Resultados de ANOVA de Oxígeno Disuelto del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) según Anexo 6.....	80
Tabla 22: Resultados de ANOVA de pH del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) según Anexo 6	81
Tabla 23: Resultados de ANOVA de Cianuros Totales del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O según Anexo 7	81
Tabla 24: Resultados de ANOVA de Conductividad del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O según Anexo 7	81

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Tabla 25: Resultados de ANOVA de Oxígeno Disuelto del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O según Anexo 7	82
Tabla 26: Resultados de ANOVA de pH del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O según Anexo 7	82
Tabla 27: Resultados de ANOVA de Cianuros Totales del tratamiento del agua residual con NaClO (10%) según Anexo 8.....	82
Tabla 28: Resultados de ANOVA de Conductividad del tratamiento del agua residual con NaClO (10%) según Anexo 8.....	83
Tabla 29: Resultados de ANOVA de Oxígeno Disuelto del tratamiento del agua residual con NaClO (10%) según Anexo 8.....	83
Tabla 30: Resultados de ANOVA de pH del tratamiento del agua residual con NaClO (10%) según Anexo 8.....	83
Tabla 31: Comparativo de costos de reactivos.....	85
Tabla 32: Costo dosificaciones de reactivos para oxidación química	86
Tabla 33: Costo dosificaciones de reactivos para clarificación del agua.....	87
Tabla 34: Accesorios para construcción de la planta de Tratamiento de Agua Residual	89
Tabla 35: Costo aproximado del Tratamiento del Agua Residual para la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.	89

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo del proceso de tratamientos térmicos y termoquímicos	2
Figura 2: Planta de Tratamientos Térmicos de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.....	7
Figura 3: Cianuro de sodio comercial	14
Figura 4: Diagrama de la parte experimental del proyecto.....	32
Figura 5: Mantenimiento del Tanque de Lavado.....	33
Figura 6: Agitación del agua residual.....	33
Figura 7: Toma de muestra de agua residual	34
Figura 8: Muestra de Agua almacenada	34
Figura 9: Medición de pH, Conductividad, Oxígeno disuelto y Temperatura	34
Figura 10: Muestra de agua residual etiquetada.....	35
Figura 11: Muestra de agua residual cubierta con papel aluminio	35
Figura 12: Conservación Muestra de Agua Residual	36
Figura 13: Agua Residual para experimento.....	39
Figura 14: Dosificación de Agente Oxidante.....	39
Figura 15: Medición de Temperatura	40
Figura 16: Agitación de la muestra.....	40
Figura 17: Medición de Parámetros	40
Figura 18: Muestras de agua tratada con H₂O₂ (30%) etiquetadas.....	41
Figura 19: Muestras de agua tratada con H₂O₂ etiquetadas	42
Figura 20: Pesaje de catalizador	42
Figura 21: Muestras de agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O.....	43
Figura 22: Muestras de agua tratada con NaClO (10%) etiquetadas	44
Figura 23: Soluciones de coagulantes y floculante	45
Figura 24: Muestras de agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O.....	46
Figura 25: Prueba de Jarras-Proceso de coagulación.....	46
Figura 26: Adición de floculante	47
Figura 27: Agua clarificada con Al₂(SO₄)₃ y Polímero Aniónico con sedimentación de sólidos	47
Figura 28: Agua clarificada con PAC y Polímero Aniónico con sedimentación de sólidos	48
Figura 29: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función de días de producción laborables de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A. (Autor: Luna, 2016).....	51
Figura 30: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función de la producción en peso de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.....	52
Figura 31: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.....	53
Figura 32: Gráfico de la de la temperatura en función de la concentración de cianuros totales del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.....	53
Figura 33: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.....	54

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Figura 34: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.....	54
Figura 35: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a D1 (0.058ml)	56
Figura 36: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a D2 (0.087ml)	56
Figura 37: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a D3 (0.23 ml)	57
Figura 38: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D1 (0.058ml)	57
Figura 39: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D2 (0.087ml)	58
Figura 40: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D3 (0.23 ml)	58
Figura 41: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D1 (0.058ml)	59
Figura 42: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D2 (0.087ml)	59
Figura 43: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D3 (0.23 ml)	60
Figura 44: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D1 (0.058ml).....	60
Figura 45: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D2 (0.087ml).....	61
Figura 46: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D3 (0.23 ml).....	61
Figura 47: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D1 (0.058 ml +0.07g).....	62
Figura 48: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D2 (0.087ml+0.07g).....	63
Figura 49: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D3 (0.23ml+0.07g).....	63
Figura 50: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D1 (0.058 ml +0.07g)	64
Figura 51: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D2 (0.087ml+0.07g)	64
Figura 52: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D3 (0.23ml+0.07g)	65

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Figura 53: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D1 (0.058 ml +0.07g)	65
Figura 54: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D2 (0.087ml+0.07g)	66
Figura 55: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D3 (0.23ml+0.07g)	66
Figura 56: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D1 (0.058 ml +0.07g)	67
Figura 57: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D2 (0.087ml+0.07g)	67
Figura 58: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D3 (0.23ml+0.07g)	68
Figura 59: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a D1 (0.064ml)	69
Figura 60: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a D2 (0.083ml)	69
Figura 61: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a D3 (0.17ml)	70
Figura 62: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D1 (0.064ml)	70
Figura 63: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D2 (0.083ml)	71
Figura 64: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D3 (0.17ml)	71
Figura 65: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D1 (0.064ml)	72
Figura 66: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D2 (0.083ml)	72
Figura 67: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D3 (0.17ml)	73
Figura 68: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D1 (0.064ml)	73
Figura 69: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D2 (0.083ml)	74
Figura 70: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D3 (0.17ml)	74
Figura 71: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a un t=30 min, con D1, D2 y D3	75

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Figura 72: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a un t=60 min, con D1, D2 y D3.....	76
Figura 73: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a un t=30 min, con D1, D2 y D3.....	77
Figura 74: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a un t=60 min, con D1, D2 y D3.....	77
Figura 75: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a un t=30 min, con D1, D2 y D3	78
Figura 76: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a un t=60 min, con D1, D2 y D3	79
Figura 77: Pre diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual proveniente del tanque de lavado de la Empresa Aceros Bohler de Ecuador S.A.....	88

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

INDICE DE ANEXOS

Anexo A: Límites de Descarga al Sistema de Alcantarilado público.....	96
Anexo B: Resultados de Laboratorio Externo.....	97
Anexo B-1: Resultados de Cianuros Totales del Agua Residual de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.....	97
Anexo B-2: Resultados de Cianuros Totales (ensayos del E1 al E6 por agente oxidante) después del tratamiento del Agua Residual de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.....	98
Anexo B-3: Resultados de Cianuros Totales (ensayos del E7 al E12 por agente oxidante) después del tratamiento del Agua Residual de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.....	99
Anexo B-4: Resultados de Cianuros Totales ensayos del E13 al E18 por agente oxidante) después del tratamiento del Agua Residual de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.....	100
Anexo B-5: Resultados de Color y Turbidez del agua tratada y clarificada de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.....	101
Anexo C: Parámetros Físico-químicos después del tratamiento del agua residual.....	102
Anexo C-1: Parámetros Físico-químicos después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a T= 24°C, rpm= 700, pH= 11.5.....	102
Anexo C-2: Parámetros físico-químicos después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a T= 24°C, rpm= 700, pH= 11.5	103
Anexo C-3: Parámetros Físico-químicos después del tratamiento del agua residual con NaClO T= 24°C, rpm= 700, pH= 11.5	104

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

RESUMEN

Se realizó el tratamiento del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A. del proceso de lavado de piezas de acero provenientes de tratamientos térmicos y termoquímicos para disminuir la presencia de cianuros, para lo cual se aplicó oxidación química mediante el uso de tres agentes oxidantes: Peróxido de Hidrógeno al 30%, Peróxido de Hidrógeno al 30% más Sulfato de Cobre Pentahidratado como catalizador e Hipoclorito de Sodio al 10%. Para cada experimento se realizaron tres dosificaciones, a tiempos de 30 minutos y 60 minutos; se trabajó con una concentración inicial de cianuros totales de 32.250 mg/l, temperatura constante de 24°C y velocidad de agitación de 700 rpm. Tanto en las muestras de agua sin tratar como en las muestras tratadas se midió pH, conductividad, oxígeno disuelto y cianuros totales. El tratamiento más eficiente fue el de peróxido de hidrógeno con catalizador en una dosificación de (0.058ml + 0.07g) respectivamente a un tiempo de 60 min, con un 82.8% de reducción de cianuros totales. Posteriormente una vez oxidada el agua residual se aplicó a la misma un tratamiento de clarificación dosificando Policloruro de Aluminio como coagulante y Polímero Aniónico como floculante, obteniendo que la concentración óptima fue de 200 ppm y 2 ppm respectivamente con un 97.19% de reducción de turbidez y un 92% de reducción del color.

Se concluye que se logró oxidar los cianuros a cianatos que son elementos menos tóxicos para el ambiente y salud de los trabajadores de la empresa proponente.

Palabras claves: Agua Residual / Oxidación Química / Agente Oxidante / Cianuros / Cianatos

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

ABSTRACT

Treatment of waste water has been made from washing of steel from thermal and thermochemical treatments performed to reduce the presence of cyanides Aceros Boehler of Ecuador SA, for which chemical oxidation was applied using three oxidizing agents: Peroxide Hydrogen 30% Hydrogen peroxide 30% Copper Sulfate Pentahydrate more catalyst and Sodium hypochlorite 10%. For each experiment was performed three dosages, at times 30 minutes and 60 minutes; we worked with an initial concentration of total cyanides 32.250 mg / l, constant temperature of 24 ° C and agitation speed of 700 rpm. Both water samples untreated and treated samples pH, conductivity, dissolved oxygen and total cyanides was measured, and these water quality parameters. From the results it was found that the most efficient treatment was the hydrogen peroxide catalyst dosing (0.058ml + 0.07g) respectively to a time of 60 min, with an 82.8% reduction of total cyanides. Subsequently once oxidized waste water was applied to the same treatment clarification dosing aluminum polychloride as coagulant and anionic polymer as a flocculant, obtaining the optimal concentration was 200 ppms and 2 ppms respectively with 80% color reduction and 70% reduction in turbidity.

Concluding that achieved oxidize cyanides to cyanates elements that are less toxic to the environment and health of workers of the proposing company.

Key words: Waste Water / Chemical Oxidation / Oxidizing Agents / Cyanides / Cyanate

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL TEMA A DESARROLLAR

Se realizó el tratamiento del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A. del proceso de lavado de piezas de acero provenientes de tratamientos térmicos y termoquímicos para disminuir la presencia de cianuros, mediante pruebas de oxidación para la cuantificación de cianuros totales antes y después del tratamiento de las aguas residuales, con el fin de determinar la eficiencia del tratamiento propuesto.

Los procesos de tratamientos térmicos y termoquímicos tienen como fin cambiar la estructura y las propiedades de piezas metálicas, entre las que se pueden destacar dureza, tenacidad, resistencia a altas temperaturas, a la compresión y a la corrosión.

“Los tratamientos térmicos que se realizan en la empresa son: recocido, distensionado, temple, proceso sub-cero y revenido; y los tratamientos termoquímicos son: cementación o carburización y Nitruración o Tenifer” (Bohler, 2015)

En este último intervienen la acción térmica y química, para lo cual se utilizan varios químicos dependiendo del tratamiento, entre ellos se encuentra el Cianuro de Sodio, “que es un compuesto extremadamente venenoso para el ser humano, este reacciona con el hierro de la hemoglobina sanguínea e impide que el oxígeno llegue a los tejidos corporales. Entre sus aplicaciones importantes se emplea en la extracción de metales nobles y en la realización de recubrimientos metálicos.” (Vázquez, 2000)

“Posterior a los tratamientos ya sean térmicos o termoquímicos (Figura 1), se procede al lavado de piezas introduciendo las mismas en el tanque de agua por dos horas; para que las sales ya sean de Cianuro de Sodio, TEC 140, TEC 960, TEC 540, TEC NIT B, TEC NIT OX y TEC NIT R se disuelvan y salgan con facilidad, transcurrido este tiempo se las enjuaga con un cepillo de alambre

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

de cerdas suaves y se las deja secar, siendo esta la razón para que el agua se contaminé y se convierta en un impacto negativo para el medio ambiente.” (Bohler, 2015)

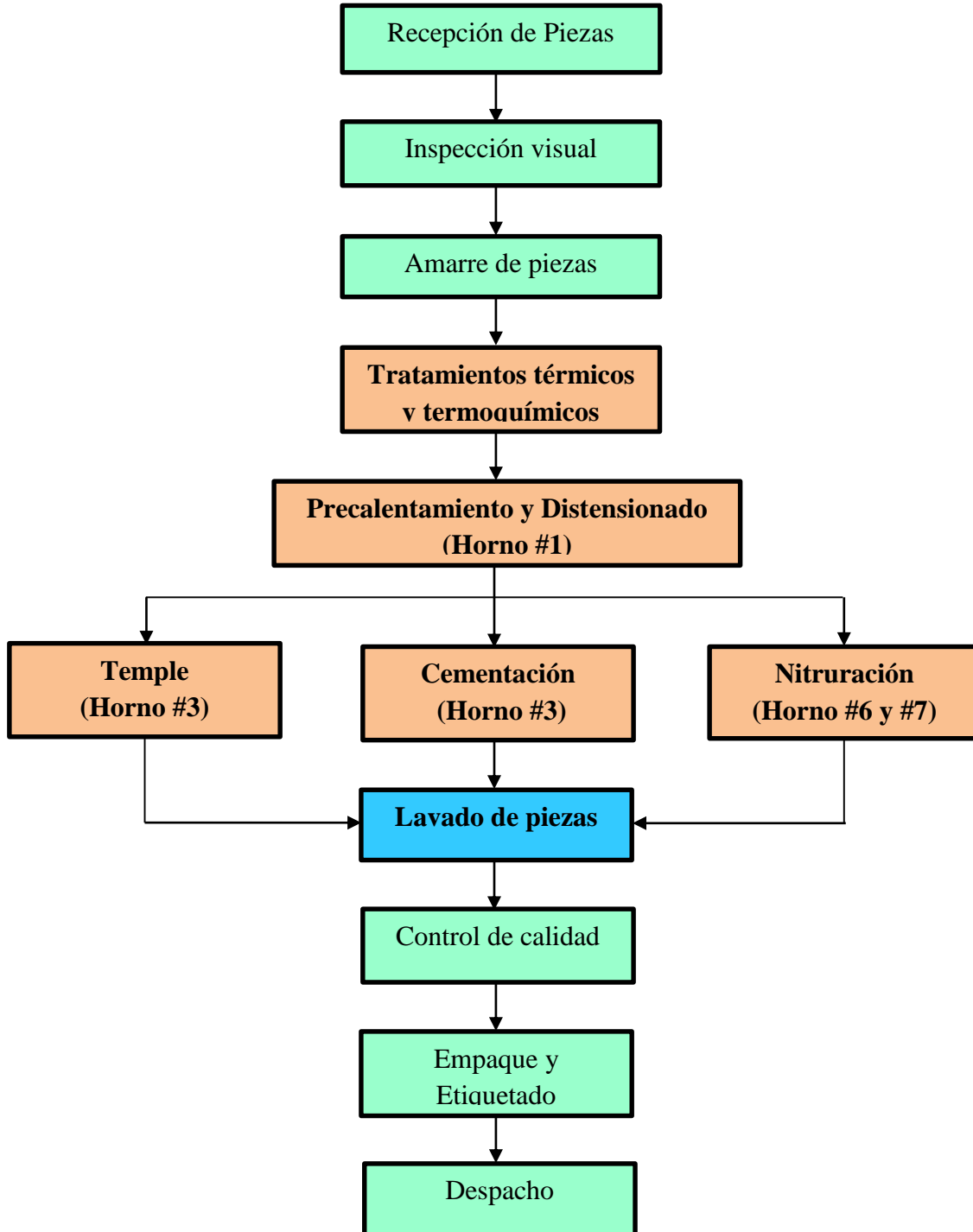


Figura 1: Diagrama de flujo del proceso de tratamientos térmicos y termoquímicos
Fuente: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

“Existen varios métodos para la degradación del cianuro en efluentes industriales, basados en disminuir la concentración de cianuro a niveles asimilables para los seres vivos, se pueden clasificar en:

- Degradación natural
- Oxidación química
- Precipitación
- Biodegradación
- Recuperación del cianuro” (Estefani, 2013)

El método que se aplicó para el tratamiento de aguas residuales en este estudio se basó en la oxidación química, “para lo cual se utilizó compuestos que actúen como agentes oxidantes del ion cianuro para degradarlo a cianato que es su forma menos tóxica” (Román, 2011), algunos de los oxidantes utilizados para este fin son el hipoclorito de sodio (NaClO), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el ácido de caro (H_2SO_5) y el ozono (O_3) (Gómez, 2012), se controlaron las variables de tiempo de reacción, temperatura y velocidad de agitación.

Con los resultados obtenidos se determinó la eficiencia del tratamiento, considerando que los límites permisibles del cianuro total se acerquen a los valores indicados en la legislación vigente ambiental, según el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Una vez que se realizó la oxidación química del agua residual se aplicó a la misma un tratamiento de clarificación siguiendo el método de coagulación y floculación.

1.2 ANTECEDENTES

Las actuales exigencias tecnológicas ponen de manifiesto la necesidad de disponer de materiales metálicos con elevadas prestaciones bajo condiciones de servicio críticas, así por ejemplo las matrices metálicas empleados en los procesos metalúrgicos del trabajo en frío y caliente de los metales, necesitan de una alta tenacidad y elevada dureza superficial, especialmente a alta

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

temperatura, propiedades dadas por los tratamientos térmicos o termoquímicos. En numerosas aplicaciones industriales tales como la industria petrolera, automotriz, metal mecánica, entre otras; es necesario que algunas piezas tengan la superficie muy dura y resistente al desgaste y la parte central o núcleo, muy tenaz y relativamente blanda. (Díaz, 2007)

“Las sales de cianuro han sido uno de los elementos básicos para realizar estos tratamientos, sin embargo tienen propiedades tóxicas, por lo que desde hace muchos años se empezó a nivel industrial a considerar la importancia de degradar los cianuros. En 1974 se desarrolló dos procesos para la destrucción oxidante del cianuro libre y los complejos de cianuro, el primer proceso fue desarrollado por Dupont, quien utilizó una solución de peróxido de hidrógeno al 41% con pocos mg/l de formaldehidos y cobre. El segundo proceso fue desarrollado por Degussa Corporation, empleando una solución de peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre en varias concentraciones. En posteriores años se aplicaron otros agentes oxidantes como cloración alcalina y el proceso Inco-SO₂.” (Arevalo, 2011)

Para el desarrollo del proyecto se tomó como base los siguientes trabajos: “Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, Municipio de Marmato, Caldas, en el cual se realizó pruebas con varios agentes oxidantes: peróxido de hidrógeno, hipoclorito de sodio y con ácido de caro, obteniendo como alternativas más viables la combinación de peróxido de hidrógeno con hipoclorito de sodio; y el peróxido de hidrógeno, descartando la utilización de los otros oxidantes por sus altos costos” (Gaviria, 2006).

El trabajo de tesis “Reducción de la concentración de cianuro con tratamiento de peróxido de hidrógeno en las aguas residuales de la industria del Galvanizado, dando como resultado que el peróxido de hidrógeno sí reduce la concentración de cianuro, considerando como influencia directa la temperatura y el tiempo de retención; las dos variables con una relación directamente proporcional con el rendimiento” (Román, 2011).

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Entre otros trabajos importantes están la “Degradación de cianuros mediante oxidación química en efluentes industriales, para lo cual se utilizó la oxidación con peróxido de hidrógeno y por cloración alcalina, realizando tratamientos previos de coagulación, floculación y descarbonatación, dando como resultados; para el primero que requiere de una etapa de oxidación adicional y para el segundo que requiere de un catalizador o el uso de un formaldehído; siendo este último perjudicial para el ambiente y salud ” (Gómez, 2012), y el proyecto de tesis “Degradación de Cianuros de los efluentes de la Empresa Minesadco por oxidación con peróxido de hidrógeno, donde la concentración de cianuro libre cumple con la legislación ambiental ecuatoriana con un exceso estequiométrico de 125% de H₂O₂ con agitación constante de 15min.” (Ortega, 2015)

Las aguas residuales de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A. se encuentran contaminadas por grasa, metales pesados, otros compuestos y en especial de sales de cianuro que provienen del horno 3 y 6 (Figura 1). En este último periodo no se ha tomado las alternativas de descarga al alcantarillado ya que estas aguas por el alto nivel de contaminación y al no ser tratadas, no cumplen con los límites permisibles para descarga establecidos por la legislación ambiental vigente, por lo que se ha realizado la entrega del agua residual a un gestor ambiental.

1.3 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

Con el tratamiento de las aguas residuales del lavado de piezas de acero ya sean de grado herramienta, bonificadas o para cementación, provenientes de los procesos de tratamientos térmicos y termoquímicos de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.; se logró un beneficio tanto para la empresa proponente como para el ambiente, ya que por la reducción de la carga contaminante se disminuyó los impactos ambientales negativos causados por el agua residual. Para la empresa a pesar que inicialmente le representará un costo, el beneficio será permanente; ya que contará con su propio tratamiento de aguas residuales y no dependerá de contrataciones externas para este servicio.

Este proyecto tiene una gran implicación sobre la seguridad y salud de los trabajadores de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A., puesto que con el tratamiento de las aguas residuales

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

se disminuirá los riesgos de toxicidad del cianuro, salvaguardando de esta manera la integridad física de los mismos.

“Por otra parte, considerando que el agua es una materia prima para la industria, el enfoque del tratamiento fue la reutilización del agua tratada, aportando de esta manera con lo indicado en La Agenda 21, surgida de las conversaciones de Río 92, que concluyó en el capítulo 30 que las políticas y operaciones comerciales e industriales pueden desempeñar un papel decisivo en la conservación ambiental y el mantenimiento de los recursos si se incrementa la eficacia de los procesos de producción y se adoptan tecnologías y procedimientos limpios, reduciendo al mínimo, e incluso evitando, los deshechos.” (Rodríguez, 2006)

Estas razones contribuyeron a que el proyecto sea sostenible, ya que los beneficios fueron a nivel ambiental, social y económico.

1.4 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS A ALCANZAR

1.4.1 Objetivo general

Realizar el tratamiento de aguas residuales del lavado de piezas de acero provenientes de tratamientos térmicos y termoquímicos para disminuir la presencia de Cianuros de la empresa Aceros Bohler Del Ecuador S.A.

1.4.2 Objetivos específicos

1.4.2.1 Disminuir la presencia de cianuros de las aguas residuales mediante pruebas de oxidación para reducir la carga contaminante.

1.4.2.2 Obtener la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales mediante los resultados de la cuantificación de cianuros para evaluar los métodos de oxidación.

1.4.2.3 Seleccionar el método adecuado de oxidación mediante la eficiencia, tiempo y consumo de productos químicos para evaluar el costo del tratamiento de las aguas residuales idóneo para la Empresa Aceros Bohler del Ecuador. S.A.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

1.5 CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO

El proyecto se efectuó en las instalaciones de la Planta de Tratamientos Térmicos de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A, ubicada al norte de la ciudad de Quito, en la calle Las Avellanas E1-112 y Panamericana Norte Km 5 ½, sector Parque de los Recuerdos. En el sitio se encuentran los hornos de tratamientos térmicos y termoquímicos, otros equipos para algunos subprocesos y el tanque para el lavado de piezas de acero (Figura 2), en el mismo existe el espacio para adecuar una planta de tratamiento de aguas residuales.

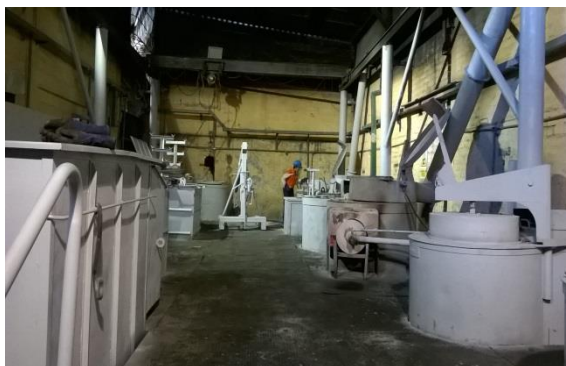


Figura 2: Planta de Tratamientos Térmicos de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.
Autor: Luna, 2016

Las condiciones ambientales varían en función de la producción de la Planta de Tratamientos Térmicos y de los procesos de mantenimiento programados.

La toma de muestras para la cuantificación de cianuros inicial y para el tratamiento de las aguas residuales se tomó del tanque de lavado de piezas de acero tratadas in situ.

Las pruebas de laboratorio se realizaron en los Laboratorios de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK y en el Laboratorio OSP de la Universidad Central del Ecuador, este último es calificado por el SAE y acreditado en el análisis de cuantificación de cianuros.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ESTUDIOS PREVIOS. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

El tratamiento de aguas residuales para disminuir el cianuro proveniente de procesos industriales ha sido un tema de estudio y aplicación a nivel mundial para tratar este elemento que es tóxico para el ambiente y el ser humano.

(Kitis & Akcil, 2004) en el trabajo de investigación de destrucción de cianuro con peróxido de hidrógeno determinaron que, “con una concentración de 100mg/l de H₂O₂ y la adición de 30mg/l de Cu se logra destruir el cianuro de 57mg/l a 1mg/l en un tiempo de 2 horas a un pH de 9.5, mientras que sin presencia del catalizador se obtiene concentraciones de cianuro inferiores a 1mg/l pero con 3 veces más la concentración de H₂O₂ y con un tiempo superior a 4 horas”

(Gaviria & Meza, 2006) concluyen en la investigación para la degradación y control de cianuro de efluentes líquidos, que “la combinación de H₂O₂ y NaOCl se obtiene la degradación del cianuro hasta los límites permisibles; con una proporción de 2.5 Kg H₂O₂/Kg CN- con 5 Kg NaOCl/Kg CN- en un tiempo de 20 min y con un pH de 11.46. Desde el punto de vista económico es la alternativa más viable por el menor costo y la menor cantidad que se utiliza con respecto al hipoclorito de sodio. Desde el punto de vista ambiental el peróxido de hidrogeno es la alternativa más viable, ya que tiene la ventaja que todas las formas de cianuro incluyendo los hexacianoferratos pueden ser degradados y el exceso de peróxido que quede en la solución se descompone en agua y oxígeno a diferencia del hipoclorito de sodio, en el cual puede presentarse cloro libre residual y cloroaminas que deben removerse ya que son compuestos tóxicos para la vida acuática. Como recomendación para evitar la hidrólisis del cianuro y la consecuente formación del ácido cianhídrico, indican que el pH para iniciar la degradación debe ser mayor de 10.5.”

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

(Vargas & Cuesta, 2011) en el estudio Efecto de las variables de oxidación de cianuro con luz ultravioleta usando TiO_2 como catalizador, concluyen que “la oxidación foto-catalítica es efectiva para disminuir la concentración de cianuro en efluentes industriales en un tiempo de 4 horas. La reducción del porcentaje de cianuro depende de la concentración inicial de la solución de prueba y del tiempo de reacción, mientras que la concentración de catalizador parece no influenciar significativamente el proceso foto-oxidativo cuando se trabaja a concentraciones moderadas de cianuro (52 mg/L) encontrándose porcentajes de cianuro similares trabajando con 0.5 y 1.5 mg/L de catalizador a iguales tiempos de reacción y de concentración inicial del reactivo. A concentraciones de cianuro más altas, (156 mg/L), se requieren mayores tiempos de reacción y concentración de catalizador para disminuir el porcentaje de cianuro al final del tratamiento, al comparar los resultados con los obtenidos a bajas concentraciones iniciales de cianuro.”

(Román & Parra, 2011) obtienen como resultados que “el mayor rendimiento de la degradación del cianuro en las aguas residuales es del 74% con una relación de $2\text{H}_2\text{O}_2:1\text{CN}^-$ ml en 3 horas y con un pH de 10. Como recomendaciones: la temperatura de tratamiento con peróxido de hidrogeno debe ser menor a 40°C para no sobrepasar los límites establecidos de la normativa ambiental vigente, la adición de peróxido de hidrógeno debe realizarse en su totalidad al inicio del ensayo, ya que al añadir por goteo inhibe la acción del factor por tiempo de retención, trabajar a mayores concentraciones del agente oxidante de las usadas en el estudio de dos moles de peróxido de hidrógeno por una mol de cianuro de sodio para obtener un mejor rendimiento de remoción de cianuros.”

(Ortega, 2015) “recomienda mantener la dosificación óptima de peróxido de hidrógeno (H_2O_2 50% = según la concentración de NaCN el 125% del exceso estequiométrico de Peróxido de hidrógeno), controlando que el pH se mantenga por encima de 11 para asegurar la oxidación total del cianuro, con el fin de acelerar la velocidad de reacción recomienda usar el Sulfato de cobre penta hidratado como catalizador, considerando que se debe añadir antes del peróxido de hidrógeno hasta disolución.”

2.2 MARCO LEGAL

La normativa legal e institucional que aplica al proyecto de tesis en todas sus fases es la siguiente:

(Constitución de la República del Ecuador, 2008) publicada en el Registro Oficial (R.O.) N°. 449, el 20 de octubre. En el Artículo 3 considera como deberes del Estado el “proteger el patrimonio natural y cultural del país”; en el Artículo 14 “se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”; en el Artículo 66, numeral 27, reconoce y garantiza “El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza”; en el Art. 15 “El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto”; en el Artículo 397, el Estado se compromete a “Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales”; en el 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.”

(Ley de Gestión Ambiental, 2004), R. O. N°. 418, del 10 de septiembre. En el Art. 1 “Establece los principios y directrices de la política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia”; en el Art. 33 “Establece como instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes:

parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias administrativas, evaluaciones de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento.”

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

(Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014), R.O. N°. 305, del 6 de agosto. En el Art. 3, el objeto de la ley es “garantizar el derecho humano al agua así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el *sumak kawsay* o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución”

(Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, 2004), R. O. N°. 418, del 10 de septiembre. “Determina las prohibiciones de descargar sustancias contaminantes a la atmósfera, fuentes de agua, alcantarillado y al suelo sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones.”

(Ley de Aguas, 2004), R.O. N°. 339, del 20 de Mayo, Art. 22, “Prohíbese toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna.”

(Decreto Ejecutivo No. 2393, 1998), Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, con sus reformas, R.O. No. 997, del 10 de agosto. Las disposiciones de este Reglamento se aplicarán a toda actividad laboral y en todo centro de trabajo, teniendo como objetivo la prevención, disminución o eliminación de los riesgos del trabajo y el mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Art. 1).

(Acuerdo Ministerial No. 061 , 2015) del Ministerio del Ambiente, Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Edición Especial No. 316 del R. O., del 04 de mayo. Establece los procedimientos y regula las actividades y responsabilidades públicas y privadas en materia de calidad ambiental.

(Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua) Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, “El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

general.” “En el ítem 5.2.3 indica las Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado (Ver [Anexo A](#)).”

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 Tratamiento de Aguas Residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano a nivel doméstico o industrial. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reuso. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables. (EcuRed, 2016)

2.3.2 Cianuros

El cianuro pertenece a la familia de compuestos químicos que se caracterizan por la presencia de un átomo de carbono enlazado a un átomo de nitrógeno mediante un enlace triple ($C\equiv N$). El cianuro es un químico de acción rápida, potencialmente mortal, que impide que las células del cuerpo puedan utilizar el oxígeno en forma apropiada, cuando esto sucede, las células mueren. (Vargas & Cuesta, 2011)

El cianuro se origina a partir de sustancias naturales que se encuentran en ciertos alimentos y algunas especies vegetales. El cianuro tiene connotaciones negativas debido a que muchos de sus compuestos presentan propiedades sumamente tóxicas o letales, como es el caso del ácido cianhídrico. Hay algunos compuestos de cianuro que poseen un gran número de propiedades beneficiosas, lo que ha dado lugar a su producción comercial y aplicación industrial. El cianuro de sodio es el compuesto de cianuro que se utiliza con mayor frecuencia en la industria minera, seguido del cianuro de calcio.

Las concentraciones de los compuestos sintéticos de cianuro que se emplean en los procesos industriales son mucho más elevadas que aquéllas que se encuentran en la naturaleza y son tóxicas para una serie de organismos. En consecuencia, el empleo industrial de los compuestos de cianuro

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

debe ser controlado, con el fin de evitar su descarga en concentraciones que excedan la capacidad de asimilación del medio ambiente.

2.3.2.1 Cianuro libre

Comprende el ion cianuro (CN^-) y cianuro de hidrógeno gaseoso o acuoso (HCN).

2.3.2.2 Cianuro total

Se denomina así a todos los cianuros existentes en una solución acuosa. Es una medida de concentración de cianuro que incluye todo el cianuro libre, todos los compuestos simples y complejos de cianuro y todos los cianuros metálicos fuertes. Sólo los compuestos relacionados o derivados cianato (CON^-) y tiocianato (SCN^-) se excluyen de la definición de cianuro total. (ON, 2012)

2.3.2.3 Ácido Cianhídrico (HCN)

El ácido cianhídrico puro es un líquido incoloro, de olor a almendras amargas, su punto de ebullición es 26°C . Sus disoluciones acuosas dan reacciones ligeramente ácidas; sus sales son conocidas como cianuros. Por hidrólisis el ácido cianhídrico se transforma en ácido fórmico:



Se trata de un ácido débil, altamente soluble en agua con una constante de disociación de 4.365×10^{-10} y una pKa de 9.31 a 20°C , para una reacción de equilibrio de:



El pKa del HCN disminuye con un aumento de la temperatura, llegando a un valor de 8.88 a 40°C .

El ácido cianhídrico es altamente volátil y extremadamente tóxico: la dosis mortal para el ser humano es de 60mg. (Beyer & Walter, 1987)

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

2.3.2.4 Cianuro de Sodio

Es un compuesto inorgánico, sólido blanco cristalino deliquescente, venenoso. Tiene una densidad de $1,60 \text{ g/cm}^3$, punto de ebullición de 1496°C y alcanza su punto de fusión a los 563.7°C al nivel del mar, por lo que a temperatura ambiente se encuentra en estado sólido. Es soluble en agua, sus disoluciones acuosas son muy alcalinas, con una gran reactividad con metales, sobre todo con el oro y se descomponen rápidamente. (Estefani, 2013)



Figura 3: Cianuro de sodio comercial
Fuente: (Estefani, 2013)

El cianuro de sodio no es combustible por sí mismo, pero su contacto con ácidos puede liberar gases de cianuro de hidrógeno altamente inflamables que en presencia de combustión pueden generar gases irritantes o venenosos. (Estefani, 2013)

Las sales de cianuro se usan en galvanoplastia, metalurgia, producción de sustancias químicas orgánicas, revelado de fotografías, manufactura de plásticos, fumigación de barcos y en algunos procesos de minería.

2.3.2.5 Compuestos simples de cianuro

Son compuestos iónicos que se disocian directamente en el agua liberando un catión y un ion cianuro. Son sales que provienen de reacciones ácido - base (por ejemplo el cianuro de sodio que

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

se obtiene por reacción del hidróxido de sodio con el cianuro de hidrógeno). (Guía Ambiental para el Manejo del Cianuro, 2005)

2.3.2.6 Compuestos complejos de cianuro

Son compuestos que se disocian en el agua liberando un catión y un anión que contiene ion cianuro. El anión, denominado complejo, puede seguir disociándose produciendo en última instancia un catión y varios iones cianuro (por ejemplo, el $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ o triciano cuprito. (Guía Ambiental para el Manejo del Cianuro, 2005)

2.3.2.7 Compuestos derivados del cianuro

- Cianato

El cianato (CNO^-) es un producto generado durante el procesamiento de minerales, o durante el tratamiento de efluentes que contienen cianuro por medio de un agente oxidante como el peróxido de hidrógeno o el ion hipoclorito, puede oxidarse para formar gas nitrógeno y carbonato, siempre que se usen agentes oxidantes fuertes como el cloro. El cianato es estable en condiciones alcalinas pero se descompone en condiciones ácidas para generar amonio.

- Tiocianato

El tiocianato se forma por la reacción del cianuro, del oxígeno y de sustancias que contienen azufre. Los tiocianatos son más estables que los cianatos en solución acuosa. El tiocianato puede degradarse lentamente debido a la acción de diversos organismos, como el *Thiobacillus thiocyanoxidans*, el cual lo oxida formando amoníaco y sulfato.

2.3.3 Oxidación Química

“La oxidación es un cambio químico en el que un átomo o grupo de átomos pierde electrones.” (Teijon & García, 2006) Considerado un sistema, la oxidación implica que uno de los elementos se desprenda de electrones y que otro los asimile. De este modo, lo que se produce es una transferencia de electrones.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

El elemento que concede los electrones se conoce como agente reductor y es el que se oxida. El agente oxidante, en cambio, se queda con los electrones que el reductor libera. Mientras que el estado de oxidación del primero se incrementa, el estado de oxidación del segundo se reduce. (Méndez, 2010)

2.3.4 Oxidación del Cianuro

La degradación del cianuro puede realizarse mediante la oxidación química de cianuros a cianatos aplicando varios métodos como son: oxidación natural, proceso de peróxido de hidrogeno, proceso de dióxido de azufre, proceso de clorinación alcalina, oxidación biológica y ozonización.

A continuación se describen los procesos de oxidación con peróxido de hidrógeno y por cloración alcalina que se han estudiado en el presente proyecto:

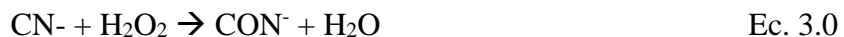
2.3.4.1 Oxidación con Peróxido de Hidrógeno H_2O_2

“Los peróxidos son compuestos binarios que contienen mayores proporciones de oxígeno que los óxidos simples. El óxido simple de hidrógeno es el agua, H_2O . El peróxido de hidrógeno, H_2O_2 , es un líquido claro que tiene dos átomos de oxígeno por molécula. Es algo inestable aunque no tanto como el ozono. Desde el punto de vista termodinámico, es un agente oxidante más fuerte que el oxígeno elemental, pero normalmente no tan activo como el ozono. Para valores elevados de pH, el peróxido de hidrógeno puede tener un potencial de oxidación mayor que el del ozono. Esta propiedad ha sido razón para que desde hace muchos años sea utilizado para el tratamiento de efluentes industriales” (Walter & Weber, 2003)

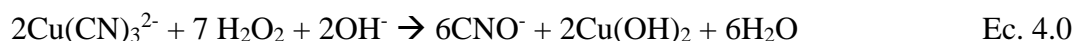
Para la destrucción del cianuro libre y los complejos de cianuro se han desarrollado dos procesos los cuales utilizan como agente oxidante el peróxido de hidrogeno. El primer proceso conocido como proceso Kastone fue originalmente propuesto por Dupont, 1974 y por Mathre y Devries, 1981. Este proceso utiliza una solución de peróxido de hidrogeno al 41% con unos pocos mg/l de formaldehído y cobre. (Gaviria & Meza, 2006)

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

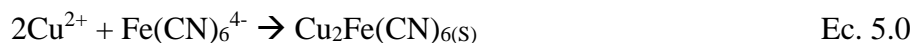
El segundo proceso fue desarrollado por Degussa Corporation, empleando una solución de peróxido de hidrogeno y sulfato de cobre en varias concentraciones, aunque es común no emplear las sales de cobre, debido a la presencia de este metal dentro de los minerales tratados, la reacción fundamental es:



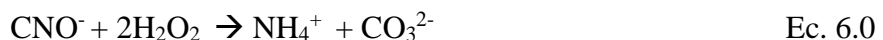
“Para complejos cianurados de metales como el Cu y el Zn, son oxidados permitiendo la precipitación espontánea de los hidróxidos correspondientes en el rango de pH 9.



En el caso de los compuestos de ferrocianuros no son oxidados, se combinan con el cobre libre en disolución para formar un complejo óptimo:



El peróxido de hidrógeno oxida rápidamente al cianuro libre a cianato, que no es tóxico ambientalmente, mientras el pH se mantenga entre 10.5 y 11. El cianato formado durante el proceso se hidroliza espontáneamente de acuerdo a la siguiente reacción:



Esta reacción puede ocurrir bajo las condiciones de temperatura ambiente y a valores de pH inferiores a 7.” (Knorre & Degussa, 1990)

Es importante considerar que la oxidación de los iones cianuro es acelerada en presencia de catalizadores como iones de cobre o formaldehído. En el primer caso, el más utilizado, los iones de cobre son suministrados en forma de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), pero normalmente, el contenido de cobre presente en el efluente, es suficiente para que acelere la reacción.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

El tiempo de reacción para llegar a una concentración adecuada varía de entre 20 minutos a 4 horas, dependiendo de la proporción cobre-cianuro, el nivel de cianuro y la cantidad de peróxido de hidrógeno empleado.

El uso de peróxido de hidrógeno es favorable desde el punto de vista ambiental, ya que durante la reacción no existe la formación de productos tóxicos, y para el caso de existir un exceso de agente oxidante no se presenta ningún efecto negativo en las descargas o productos finales del proceso, debido a que se descompone en elementos que no generan ningún impacto negativo. (Knorre & Degussa, 1990)

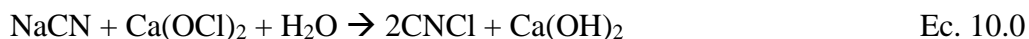


2.3.4.2 Oxidación por cloración alcalina

La cloración alcalina es un proceso químico que consiste en la oxidación y destrucción del cianuro libre y los complejos de cianuro débiles bajo condiciones alcalinas (pH = 10.5-11.5). El cloro se suministra en forma líquida o gaseosa o bien, como hipoclorito de sodio en forma sólida. Las formas sólidas se preparan en soluciones concentradas previamente a usarse en el proceso de oxidación. (Gaviria & Meza, 2006)

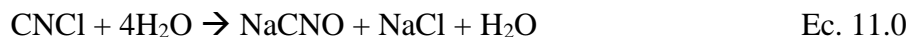
El hipoclorito de sodio es un tipo de cloro muy común, se encuentra en estado líquido y con la luz solar se descompone generando gases volátiles. Una de las propiedades del hipoclorito de sodio es que es un agente altamente oxidante, es decir que tiene una gran facilidad para reaccionar al entrar en contacto con otros elementos, sobre todo con materia orgánica. Por tal razón la oxidación por cloración es un método eficaz para disminuir el cianuro cantidades pequeñas. (Vilardel, 2014)

La destrucción del cianuro usando iones de hipoclorito o gas cloro procede vía el compuesto tóxico, cloruro cianógeno (CNCl) de acuerdo a una de las siguientes reacciones:



**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

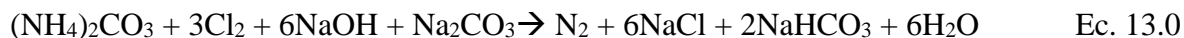
Esta reacción ocurre casi instantáneamente, con el elevado pH de la reacción, el cloruro cianógeno es rápidamente hidrolizado a cianato de acuerdo a la reacción:



El tiempo en que esto ocurre es entre 10 a 15 minutos dependiendo del pH. Si existen suficientes iones hipoclorito, el cianato se oxida a amoníaco y carbonato:



La hidrólisis requiere aproximadamente entre 1 a 1,5 horas, aunque hay ocasiones que puede tardar mucho más. Si se agrega un exceso de iones hipoclorito, el amoníaco reacciona para convertirse en gas nitrógeno:



Normalmente el proceso no llega hasta este punto debido al excesivo consumo de cloro que implica y un período de reacción muy grande. La oxidación de cianuro a cianato requiere aproximadamente 2,75 partes de cloro por parte de cianuro, aunque en la práctica el consumo es mucho mayor.

La clorinación alcalina puede remover, bajo condiciones ambientales, todas formas de cianuros, excepto los muy estables cianuros de hierro.

2.3.5 Coagulación y Floculación

2.3.5.1 Coagulación

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo. La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro (cloruro férrico) y aluminio.

Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Los factores que influyen en el proceso de coagulación son:

a) pH

Es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado. Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran: Cal viva, Cal apagada, Carbonato sódico, Sosa Cáustica y Ácidos minerales.

b) Agitación rápida de la mezcla.

Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el flóculo o precipitado.

Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto (1segundo).

c) Tipo y cantidad de coagulante.

Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de aluminio y de hierro.

2.3.5.2 Floculación

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Los factores que influyen en el proceso de floculación son:

a) Coagulación previa lo más perfecta posible.

b) Agitación lenta y homogénea.

La floculación es estimulada por una agitación lenta de la mezcla puesto que así se favorece la unión entre los flóculos. Un mezclado demasiado intenso no interesa porque rompería los flóculos ya formados.

c) Temperatura del agua.

La influencia principal de la temperatura en la floculación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos.

Generalmente, temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.

d) Características del agua.

Un agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente, de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos.

e) Tipos de floculantes

Según su naturaleza, los floculantes pueden ser:

- **Minerales:** por ejemplo la sílice activada. Se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.
- **Orgánicos:** son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Los de origen sintético, son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se le denominan polielectrolitos.

Según el carácter iónico de estos grupos activos, se distinguen:

- Polielectrolitos no iónicos: son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.
- Polielectrolitos aniónicos: Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos).
- Polielectrolitos catiónicos: caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 PROCEDIMIENTO DE TRABAJO DE GABINETE

Se determinó que la información necesaria para realizar el trabajo experimental y cumplir con los objetivos del proyecto es la siguiente:

- Selección de agentes para la oxidación química del cianuro
- Selección de parámetros a medir en muestras de agua residual y en agua tratada
- Determinación de las variables dependientes, independientes y constantes para los muestreos (tratamiento de agua residual mediante oxidación química)
- Determinación del tamaño de muestras del agua residual y número de ensayos para el tratamiento de agua residual y variables a considerar
- Determinación de volúmenes de muestras a tratar y dosificaciones del agente oxidante
- Aplicación de químicos para clarificación del agua tratada
- Diseño experimental del proyecto

3.1.1 Selección de agentes oxidantes para la oxidación química del cianuro

Con base en los trabajos de investigación y los resultados obtenidos que se hacen referencia en el Capítulo 1 en el apartado de “Antecedentes” y en el Capítulo II en el apartado de “Estado actual del conocimiento” se determinó que los agentes oxidantes más aplicados son el peróxido de hidrógeno y el hipoclorito de sodio, considerando sus propiedades eficaces como oxidantes y principalmente que los productos generados bajo condiciones controladas no resultan tóxicos para el ambiente, por lo que se seleccionó estos dos agentes para la oxidación química del cianuro en este estudio.

3.1.2 Selección de parámetros a medir en muestras de agua residual y en agua tratada

Los parámetros a medir en las muestras de agua residual son los siguientes:

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Físicos:

- a) **Temperatura:** para controlar los efectos sobre la solubilidad del oxígeno y, en consecuencia, sobre las velocidades en el metabolismo, difusión y reacciones químicas y bioquímicas.
- b) **Conductividad:** para medir la corriente eléctrica que pasa a través del agua residual, considerando que las conductividades elevadas indican la presencia de impurezas y más concretamente de sales disueltas. Es una medida generalmente útil como indicador de la calidad de aguas.

“La conductividad de los sistemas continentales generalmente es baja, variando entre 50 y 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En sistemas dulceacuícolas, conductividades por fuera de este rango pueden indicar que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados. Algunos efluentes industriales pueden llegar a tener más de 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.” (Goyenola, 2007)

Químicos:

- a) **pH:** se controla que el pH del agua residual proveniente del lavado de piezas de acero sea mayor a 11 con el fin evitar la degradación de cianuro y formación de otros compuestos.
- b) **Concentración de cianuro:** para determinar la cantidad de cianuro presente en el agua residual en mg/l.

Gases:

- a) **Oxígeno Disuelto:** para controlar la cantidad de oxígeno disuelto en el agua y en función de ello tomar como indicador de cuan contaminada está el agua.

(Pulla, 2007) “en su trabajo de investigación de oxígeno disuelto indica que los niveles de oxígeno pueden variar de 0 a 18 ppm aunque la mayoría de los ríos requieren de un mínimos de 5-6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática. Los niveles de oxígeno disueltos por debajo de 3

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

ppm daña a la mayor parte de los organismos acuáticos y por debajo de 2 o 1 ppm los peces mueren.”

En el agua tratada mediante oxidación química se miden todos los parámetros antes mencionados y para complementar para la caracterización física de la misma se miden los siguientes:

a) Color: para determinar el color del agua tratada bajo oxidación química y compararlo con el color del agua clarificada.

“El color del agua dependerá tanto de las sustancias que se encuentran disueltas, como de las partículas que se encuentran en suspensión. Se clasifica como color verdadero al que depende solamente el agua y sustancias disueltas, mientras el aparente es el que incluye las partículas en suspensión (que a su vez genera turbidez). Para determinar el color verdadero, será necesario filtrar la muestra para para eliminar todas las partículas suspendidas”. (Goyonela, 2015)

b) Turbidez: para determinar la decreciente habilidad del agua para transmitir luz, lo cual servirá como indicador de la existencia de partículas en suspensión.

“La turbidez depende de los materiales en suspensión en la columna del agua como (sedimentos, microorganismos, jabón), que atenúan y absorben la luz incidente”. (Goyonela, 2015)

3.1.3 Determinación de las variables dependientes, independientes y constantes para los muestreos (tratamiento de agua residual)

Las variables que se han determinado en el diseño experimental para disminuir los cianuros del agua residual son las siguientes:

Variables dependientes

- Concentración de cianuro del agua tratada

Variables independientes

- Volumen dosificado de Agente oxidante.
- Tiempo de Reacción

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Constantes

- Concentración inicial de cianuro de sodio (mg/l) para cada ensayo
- Volumen de la muestra para cada ensayo
- pH
- Temperatura
- Velocidad de agitación

3.1.4 Determinación del tamaño de muestras del agua residual y número de ensayos para el tratamiento del agua residual y variables a considerar

Tamaño de muestra para cuantificar el cianuro en el agua residual

Considerando que el tanque de lavado de piezas de acero provenientes de tratamientos térmicos y termoquímicos no presenta un caudal, es decir que el volumen es aproximadamente constante en el tiempo, y con el fin de evaluar la tendencia de la concentración de cianuros en función de los días laborables en un mes y de la producción, ya que el propósito es aplicar el tratamiento de aguas residuales en una frecuencia mensual en la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A. para que sea más fácil tratar la carga contaminante, el número de muestras que se tomaron fue 6; en los días que se señalan en la Tabla 1:

Tabla 1: Matriz toma de muestras agua residual


Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Semana 1		Agua limpia			Muestra 1		
Semana 2		Muestra 2		Muestra 3			
Semana 3		Muestra 4		Muestra 5			
Semana 4				Muestra 6			

Fuente: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Donde:

 Toma de muestras en la mañana

 Toma de muestras en la tarde

Por las condiciones indicadas la determinación de 6 muestras no se evaluó mediante una fórmula estadística, no se consideró mayor número de muestras por el tiempo de entrega del proyecto.

Número de ensayos para el tratamiento del agua residual

El número de ensayos se determinó con la siguiente fórmula (Ortega, 2015):

$$N = n^F (R) \quad \text{Ec. 14.0}$$

Donde:

N = Número de ensayos experimentales

F = Número de variables independientes

n = Niveles establecidos

R = repeticiones

$$N = 3^2 (2)$$

$$N = 18 \text{ ensayos experimentales}$$

Considerando las variables a medir a continuación matriz de ensayos experimentales en la siguiente tabla:

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Tabla 2: Matriz de Ensayos Experimentales por Agente Oxidante

	t1			t2		
D1	E1	E2	E3	E4	E5	E6
D2	E7	E8	E9	E10	E11	E12
D3	E13	E14	E15	E16	E17	E18

Fuente: Luna, 2016

Donde:

D = Dosificación de agente oxidante

t = Tiempo de reacción

E = Ensayo

3.1.5 Determinación de volúmenes de muestras a tratar y obtención de dosificaciones del agente oxidante.

- Volumen de muestra a tratar

Los volúmenes de muestra de agua residual para cada ensayo fueron de 500ml, principalmente por razones solicitadas en el Laboratorio externo como cantidad mínima para analizar los cianuros del agua tratada.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

- Dosificación de agente oxidante

Para obtener las dosificaciones del agente oxidante para cada experimento se partió de datos ya estudiados de fuentes bibliográficas confiables en donde indica que para oxidar 1 gramo de cianuro se requiere de (2 a 8) gramos de peróxido de hidrógeno y de (3 a 8) gramos de hipoclorito de sodio.

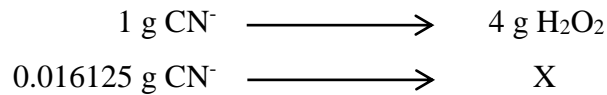
A continuación se determina la dosificación del peróxido de hidrógeno:

Cada ensayo experimental se ha realizado con 500 ml de agua residual de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A con una concentración de 32.250 mg/l de cianuros totales.

$$32.250 \frac{mg}{l} CN^{-x} \cdot 0.5 l = 16.125 mg CN^{-}$$

$$16.125 mg CN^{-x} \frac{1g}{1000mg} = 0.016125 g CN^{-}$$

Considerando que 4 gramos de peróxido de hidrógeno oxida 1 gramo de cianuro se tiene:



$$X = 0.0645 g H_2O_2$$

Tomando en cuenta que el peróxido de hidrógeno se encuentra a una concentración del 30% en volumen se dosificó el mismo en ml, y considerando la densidad del agente oxidante es 1.11 g/cm³ se tiene:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ec: 15.0

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Ec: 16.0

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

$$V = \frac{0.0645 \text{ g } H_2O_2}{1.11 \text{ g/cm}^3}$$

$$V = 0.058 \text{ cm}^3$$

$$0.058 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ cm}^3} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} = 0.058 \text{ ml}$$

Por tanto se añadió 0.058 ml de peróxido de hidrógeno al 30% de concentración en 500 ml de agua residual para oxidar 32.250 mg/l de cianuros totales. En la Tabla 3 se muestran las dosificaciones para los 3 experimentos:

Tabla 3: Dosificaciones de Agentes Oxidantes

Dosificaciones	H₂O₂ (ml)	H₂O₂ (ml) + CuSO₄·5H₂O₂ (g)	NaClO (ml)
D1	0.058	0.058 + 0.07	0.042
D2	0.087	0.087 + 0.07	0.062
D3	0.23	0.23 + 0.07	0.17

Fuente: Luna, 2016

3.1.6 Aplicación de químicos para clarificación del agua tratada

La clarificación del agua se realizó mediante la prueba de jarras (Método de Coagulación y Floculación) para lo que se utilizó como coagulantes el Sulfato de Aluminio y el Policloruro de Aluminio (PAC) y un floculante el Polímero Aniónico, dado a sus características eficientes para este tratamiento, se evaluaron varias concentraciones de los mismos en volúmenes de agua de 250 ml y en función de la clarificación obtenida se seleccionó los químicos y concentraciones a dosificar, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 4:

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Tabla 4: Químicos a dosificar para la clarificación del agua tratada

Experimentos	Químicos	ppm					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Experimento 1	Sulfato de Aluminio al 1%	100	200	300	400	500	600
	Polimero Aniónico 0.1%	2	2	2	2	2	2
Experimento 2	Policloruro de Aluminio al 1%	100	200	300	400	500	600
	Polimero Aniónico al 0.1%	2	2	2	2	2	2

Fuente: Luna, 2016

Las variables que se consideraron en el tratamiento del agua para la clarificación fueron las siguientes:

Variables dependientes

- Color
- Turbidez

Variables independientes

- Concentración de coagulante

Constantes

- Volumen de la muestra para cada ensayo
- Concentración de floculante
- Velocidad de agitación con el coagulante
- Velocidad de agitación con el floculante
- Tiempo de reacción con el coagulante
- Tiempo de reacción con el floculante

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

3.1.7 Diseño experimental del proyecto

En el diagrama de flujo (Figura 4) se detalla cómo se llevó a cabo el diseño experimental del presente trabajo:

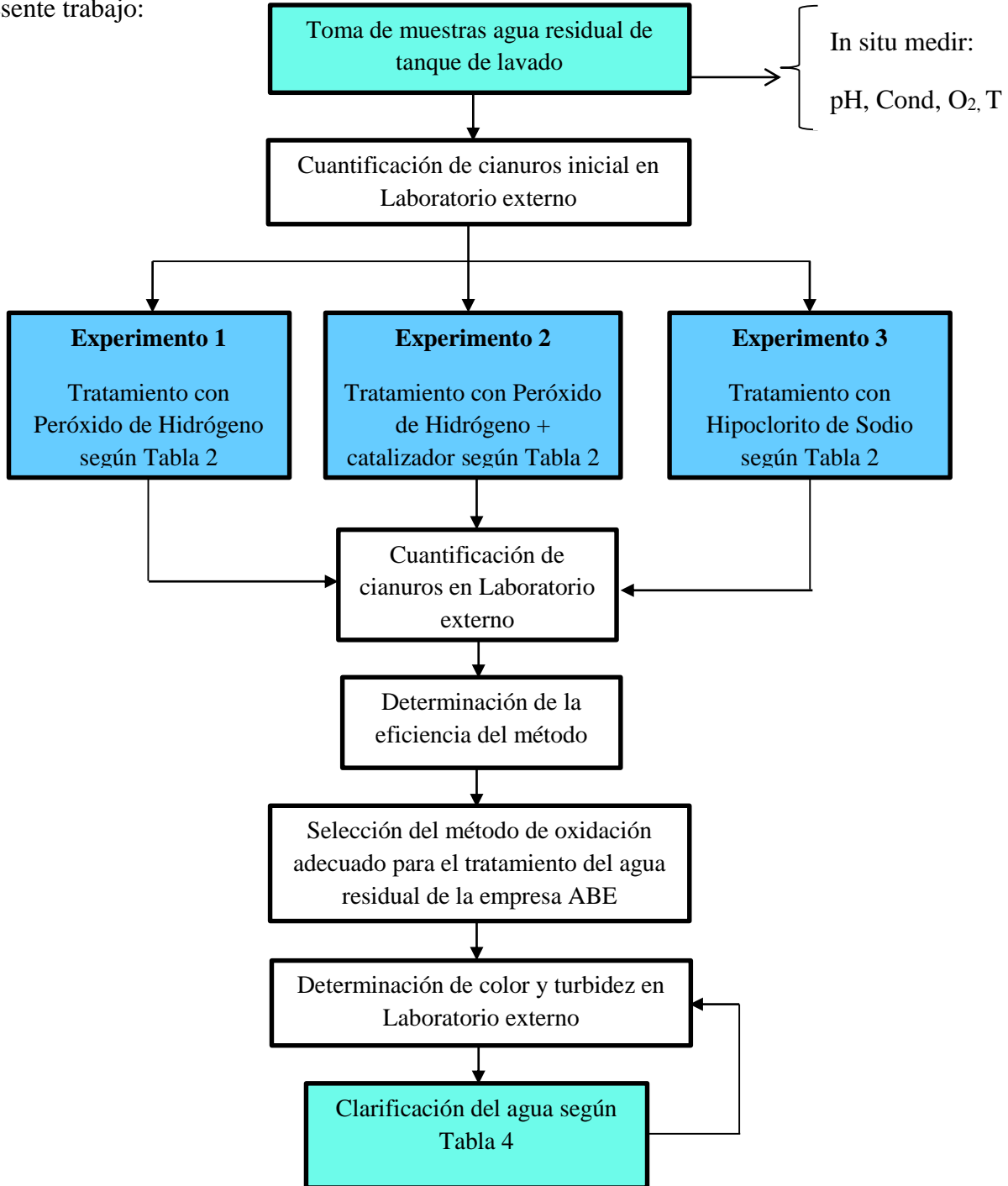


Figura 4: Diagrama de la parte experimental del proyecto

Fuente: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

3.2 PROCEDIMIENTO DE CAMPO

3.2.1 Toma de muestras del agua residual del tanque de lavado de piezas de acero de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.

Previo a la toma de muestras se realizó el mantenimiento del tanque de lavado de piezas de acero (Figura 5) y se colocó agua limpia con el fin de evaluar la concentración de cianuros que se incrementan con el tiempo y la influencia que tiene la producción.



Figura 5: Mantenimiento del Tanque de Lavado
Autor: Luna, 2016

La toma de muestras del agua residual se realizó en dos partes:

1. Toma de muestras del agua residual según la Tabla 1

a) Antes de la toma de muestra del tanque de lavado se agitó el agua residual para obtener una mezcla homogénea (Figura 6).



Figura 6: Agitación del agua residual
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

- b) Se tomó la muestra de agua residual manualmente en una botella de plástico de capacidad de 1.5 L esterilizada, introduciendo la botella a profundidad de 20 cm (Figura 7) y seguidamente se tapó para evitar contaminación (Figura 8).



Autor: Luna, 2016

- c) En el laboratorio de la empresa se colocaron 250 ml de muestra en un vaso de precipitación para medir los parámetros de pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Temperatura (Figura 9).

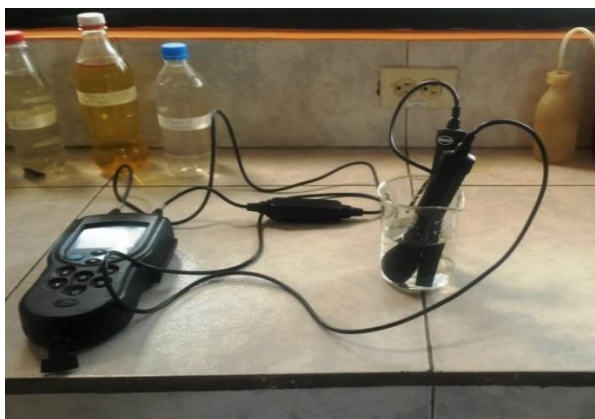


Figura 9: Medición de pH, Conductividad, Oxígeno disuelto y Temperatura
Autor: Luna, 2016

- d) Con el resultado de pH se verificó si tiene un pH básico mayor o igual a 11.5 para asegurar la preservación de la muestra y evitar pérdida de cianuro por la formación de ácido cianhídrico

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

con pH inferiores al rango indicado. Para el caso de muestras que no cumplieron con el pH se colocó hidróxido de sodio hasta alcanzar el pH deseado.

- e) La botella con agua residual de 1L aproximadamente bien tapada se etiquetó con el número de muestra, fecha y hora (Figura 10).



Figura 10: Muestra de agua residual etiquetada
Autor: Luna, 2016

- f) Luego se envolvió la botella en papel aluminio para evitar la degradación de cianuro por el ingreso de luz solar. (Figura 11).



Figura 11: Muestra de agua residual cubierta con papel aluminio
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

- g) Para el transporte de la muestra al laboratorio externo se refrigeró la muestra en un cooler verificando que la temperatura esté a 4°C para conservar la muestra y que no exista variación en la cuantificación de cianuros.

Nota: Con el fin de evaluar la influencia de la productividad en la contaminación de agua residual, al siguiente día del que se tomó la muestra se contabilizó la producción en peso.

2. Toma de muestras del agua residual para ensayos experimentales para el tratamiento químico

- a) En la mañana se tomó 30 litros de muestra de agua residual en recipientes de plástico esterilizados, se midió el pH para verificar su basicidad, se cerró y se conservó a 4°C (Ver Figura 12).
- b) Se dejó en reposo la muestra para que se sedimenten los lodos, para el siguiente día realizar los ensayos experimentales según lo indicado en la Tabla 2.
- c) El volumen de muestra para realizar los ensayos fue de 500 ml por cada experimento.
- d) Dado a que fueron 18 muestras por experimento, total 54 muestras; se controló diariamente que el pH no sea inferior a 11.5 y la temperatura sea de 4°C para evitar la formación del ácido cianhídrico.



Figura 12: Conservación Muestra de Agua Residual
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

3.3 PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO

Para el desarrollo de la parte experimental del proyecto se utilizaron dos laboratorios externos y el laboratorio de la Universidad Internacional SEK. A continuación, se detalla el procedimiento:

1. Laboratorio externo

- a) Para la cuantificación de cianuros inicial y final después de los tratamientos empleados se contrató el servicio del Laboratorio OSP de la Universidad Central del Ecuador, el cual se lo calificó mediante el certificado de acreditación del SAE y el certificado de acreditación del método aplicado (MAM-48/APHA 4500 CN'B MODIFICADO Y COLORIMÉTRICO MERK) para el análisis de cianuro para asegurar la confiabilidad de los resultados.
- b) La entrega de muestras al laboratorio para la cuantificación inicial de cianuros se entregaron 1 por día, mientras que para la cuantificación de cianuros del agua residual tratada se entregaron en grupos de 18 por día.
- c) Los resultados del laboratorio fueron entregados 9 días después de la entrega de muestras.
- d) Para la determinación de color y turbidez se utilizó el servicio del Laboratorio Umwelt, el cual se lo calificó mediante el certificado de acreditación del SAE y los certificados de acreditación de los métodos aplicados: (HACH 8025) para color y el (Turbidímetro) para turbidez.

2. Laboratorio de la Universidad Internacional SEK

Los ensayos experimentales para el tratamiento químico de agua residual y clarificación del agua tratada, según lo indicado en la Figura 4; se realizaron en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

Los recursos empleados en el laboratorio fueron los siguientes:

- **Reactivos**
 - Peróxido de hidrógeno (30%)
 - Sulfato de cobre pentahidratado
 - Hipoclorito de Sodio (10%)
 - Sulfato de Aluminio

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

- Policloruro de Aluminio (PAC)
- Polímero Aniónico
- Ácido Clorhídrico (10%)
- Agua Destilada

- **Equipos**
 - Equipo multiparámetros Hach para medir pH, Conductividad y Oxígeno Disuelto
 - Balanza analítica Marca Scientech (120 x 0.0001)
 - Termómetro digital
 - Platos de calentamiento y agitación (Marca Cole Parmer, Modelo 03047-30)
 - Equipo para prueba de jarras FP4
 - Campana para absorción de vapores ácidos

- **Materiales de laboratorio**
 - Vasos de precipitación 500 ml
 - Pipeta 1ml (0.01 ± 0.007)
 - Pipeta 5 ml (0.05 ± 0.030)
 - Probeta 10ml
 - Agitadores magnéticos
 - Agitador
 - Pera
 - Espátula

3.3.1 Tratamiento químico de agua residual mediante oxidación química

A continuación se detalla los experimentos realizados en el laboratorio para el tratamiento del agua residual mediante oxidación química:

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

a) Experimento 1: Tratamiento de agua residual con Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2)

1. Se colocó 500 ml de agua residual en un vaso de precipitación a una concentración de 32.250 mg/l de Cianuros Totales (Figura 13) y se controló que el pH sea de 11.5.



Figura 13: Agua Residual para experimento

Autor: Luna, 2016

2. Se dosificó con una pipeta 0.058 ml de peróxido de hidrógeno de concentración al 30%. (Figura 14)



Figura 14: Dosificación de Agente Oxidante

Autor: Luna, 2016

3. Se calentó la muestra en el plato de calentamiento y agitación y se controló la temperatura de 24°C con el termómetro digital. (Figura 15)

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**



Figura 15: Medición de Temperatura
Autor: Luna, 2016

4. Durante 30 minutos, se agitó la muestra a 700 rpm en el plato de calentamiento y agitación.
(Figura 16)



Figura 16: Agitación de la muestra
Autor: Luna, 2016

5. Posterior al tratamiento se midió pH, Conductividad y Oxígeno Disuelto con el equipo multiparámetros Hach. (Figura 17)



Figura 17: Medición de Parámetros
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

6. Se realizó tres repeticiones bajo las mismas condiciones.
7. Con el fin de evaluar la influencia de la concentración del peróxido de hidrógeno y el tiempo de reacción se realizó los siguientes ensayos de acuerdo a lo planteado en la Tabla 2, manteniendo la concentración inicial del cianuro. A continuación en la Tabla 5 se detalla los ensayos realizados:

Tabla 5: Matriz de Ensayos Tratamiento Químico de Agua Residual con H₂O₂ (30%)

	t1(30min)			t2 (60min)		
D1 (0.058ml)	E1-H₂O₂	E2- H₂O₂	E3- H₂O₂	E4- H₂O₂	E5- H₂O₂	E6- H₂O₂
D2 (0.087 ml)	E7- H₂O₂	E8- H₂O₂	E9- H₂O₂	E10- H₂O₂	E11 -H₂O₂	E12- H₂O₂
D3 (0.23 ml)	E13- H₂O₂	E14- H₂O₂	E15- H₂O₂	E16- H₂O₂	E17- H₂O₂	E18- H₂O₂

Fuente: Luna, 2016

8. Posterior al tratamiento del agua residual se envasó las muestras en botellas plásticas esterilizadas, bien tapadas, se etiquetaron con los códigos indicados en la Tabla 5 (Figura 18) y posteriormente se envolvieron en papel aluminio (Figura 19). Se colocaron las muestras en un cooler a 4°C y se enviaron al Laboratorio OSP para el análisis de cianuros.

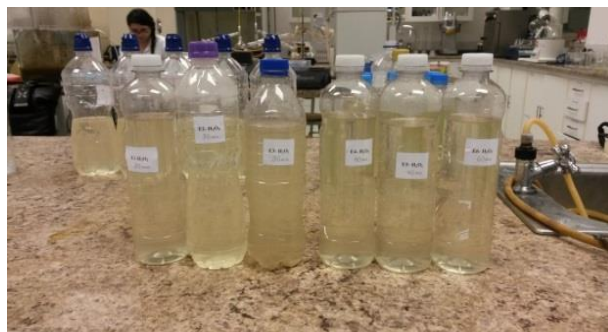


Figura 18: Muestras de agua tratada con H₂O₂ (30%) etiquetadas
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**



Figura 19: Muestras de agua tratada con H_2O_2 etiquetadas
Autor: Luna, 2016

b) Experimento 2: Tratamiento de agua residual con Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2) y catalizador Sulfato de Cobre Pentahidratado ($CuSO_4 \cdot 5 H_2O$)

1. Se realizó el mismo procedimiento como el Experimento 1, considerando en el paso 2 que para la dosificación adicional de sulfato de cobre se pesó 0.07 g en la balanza analítica (Figura 20), se colocó en 100 ml del agua residual para disolver en su totalidad el catalizador utilizando un agitador.



Figura 20: Pesaje de catalizador
Autor: Luna, 2016

2. A continuación en la Tabla 6 se detalla los ensayos realizados de acuerdo a lo planteado en la Tabla 2.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Tabla 6: Matriz de Ensayos Tratamiento Químico de Agua Residual con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

	t1(30min)			t2 (60min)		
D1 (0.058 ml +0.07g)	E1-H_2O_2-C	E2- H_2O_2-C	E3- H_2O_2-C	E4- H_2O_2-C	E5- H_2O_2-C	E6- H_2O_2-C
D2 (0.087ml+0.07g)	E7- H_2O_2-C	E8- H_2O_2-C	E9- H_2O_2-C	E10- H_2O_2-C	E11 -H_2O_2-C	E12- H_2O_2-C
D3 (0.23ml+0.07g)	E13- H_2O_2-C	E14- H_2O_2-C	E15- H_2O_2-C	E16- H_2O_2-C	E17- H_2O_2-C	E18- H_2O_2-C

Fuente: Luna, 2016

3. En la Figura 21 se presenta el agua tratada con la codificación respectiva según la Tabla 6 con la que se entregaron al laboratorio OSP.



Figura 21: Muestras de agua tratada con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

Autor: Luna, 2016

c) Experimento 3: Tratamiento de agua residual con Hipoclorito de Sodio ($NaClO$)

1. Se realizó el mismo procedimiento como el Experimento 1, considerando que se dosificó 0.042 ml de hipoclorito de sodio de concentración al 10%.
2. A continuación en la Tabla 7 se detalla los ensayos de acuerdo a lo planteado en la Tabla 2.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Tabla 7: Matriz de Ensayos Tratamiento de Agua Residual con NaClO (10%)

	t1(20min)			t2 (40min)		
D1 (0.064ml)	E1- NaClO	E2- NaClO	E3- NaClO	E4- NaClO	E5- NaClO	E6- NaClO
D2 (0.083ml)	E7- NaClO	E8- NaClO	E9- NaClO	E10- NaClO	E11- NaClO	E12- NaClO
D3 (0.17ml)	E13- NaClO	E14- NaClO	E15- NaClO	E16- NaClO	E17- NaClO	E18- NaClO

Fuente: Luna, 2016

3. En la Figura 22 se presenta el agua tratada con la codificación respectiva según la Tabla 7 con la que se entregaron al laboratorio OSP.



Figura 22: Muestras de agua tratada con NaClO (10%) etiquetadas
Autor: Luna, 2016

3.3.2 Clarificación del agua tratada químicamente

Posterior al tratamiento químico del agua residual mediante oxidación química con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O, siendo este con el que se obtuvo los mejores resultados con la dosificación (0.058ml + 0.07g) respectivamente, se realizó en el laboratorio la clarificación del agua mediante la prueba

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

de jarras de acuerdo a lo indicado en la Tabla 4, siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

a) Caracterización del agua tratada químicamente

Considerando que el agua tratada se recirculará al tanque de lavado se midió color y turbidez.

b) Preparación de soluciones (coagulantes y floculante)

- **Sulfato de Aluminio:** Se preparó la solución al 1% peso/volumen, para lo cual se pesó 1 g de Sulfato de Aluminio en la balanza analítica y se colocó en 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitación, se agitó hasta alcanzar una solución homogénea (Figura 21).
- **Policloruro de Aluminio:** Se preparó la solución al 1% peso volumen, para lo cual se pesó 1 g de Policloruro de Aluminio en la balanza analítica y se colocó en 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitación, se agitó hasta alcanzar una solución homogénea (Figura 21).
- **Polímero Aniónico:** Se preparó la solución al 0.1% peso volumen, para lo cual se pesó 0.1 g de Polímero Aniónico en la balanza analítica, se colocó 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitación y se sometió a calentamiento para facilitar la disolución del polímero, se colocó el polímero en el agua destilada y se agitó hasta alcanzar una solución homogénea (Figura 21).



Figura 23: Soluciones de coagulantes y floculante
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

c) Dosificaciones de coagulante y floculante mediante uso de prueba de jarras

Experimento 1:

- 1) Se midió el pH del agua tratada con H_2O_2 (30%) + $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dado a que el pH del agua fue de 12.4 se dosificó ácido clorhídrico al 10% hasta alcanzar un pH neutro.
- 2) Se colocó 250 ml del agua tratada en 7 vasos de precipitación (jarras), de los cuales uno sirvió como patrón para verificar la clarificación del agua (Figura 24).

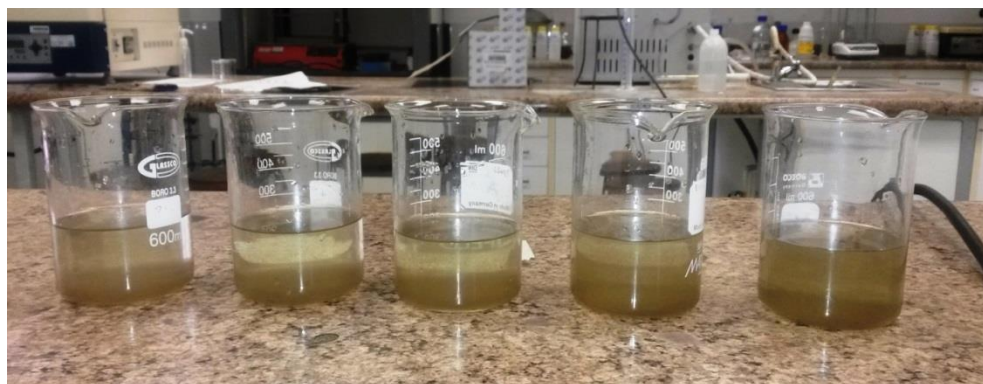


Figura 24: Muestras de agua tratada con H_2O_2 (30%) + $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Autor: Luna, 2016

- 3) Se colocó 100 ppm de Sulfato de Aluminio al 1% en el primer vaso, 200 ppm en el segundo vaso, 300 ppm en el tercer vaso, 400 ppm en el cuarto vaso, 500 ppm en el quinto vaso y 600 ppm en el sexto vaso.
- 4) Posterior se colocó los vasos en el equipo de prueba de jarras y se agitó las muestras a 300 rpm durante 10min para realizar el proceso de coagulación (Figura 25).



Figura 25: Prueba de Jarras-Proceso de coagulación
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

- 5) Luego se colocó 2 ppm de Polímero Aniónico al 0.1% en cada vaso de precipitación y se continuó con la agitación disminuyendo a 100 rpm por un tiempo de 5 min para realizar el proceso de floculación (Figura 26).



Figura 26: Adición de floculante

Autor: Luna, 2016

- 6) Finalmente se dejó en reposo las muestras de agua clarificada durante 10 min para que se sedimenten los sólidos y poder seleccionar la muestra que obtuvo una mayor clarificación (Figura 27).

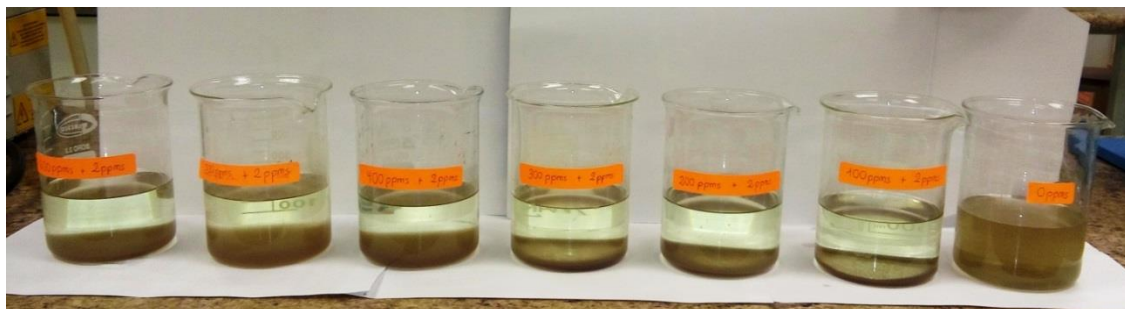


Figura 27: Agua clarificada con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y Polímero Aniónico con sedimentación de sólidos

Autor: Luna, 2016

Experimento 2:

Se realizó el mismo procedimiento como en el Experimento 1 pero con dosificaciones del coagulante Policloruro de Aluminio al 1% (Figura 28).

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**



Figura 28: Agua clarificada con PAC y Polímero Aniónico con sedimentación de sólidos
Autor: Luna, 2016

d) Caracterización del agua clarificada

De las 6 muestras obtenidas del experimento 1 se seleccionó visualmente la muestra con mayor clarificación al compararla con la muestra patrón, de igual manera se seleccionó para el experimento 2. De las dos muestras se seleccionó la más clara y se observó que los sólidos sedimentados sean compactos, se filtró y posteriormente se midió color y turbidez del agua clarificada para comparar con la muestra sin producto químico. Estos parámetros se determinaron en el Laboratorio Externo Umwelt.

3.4 TRATAMIENTO DE DATOS

El tratamiento de datos se divide en dos partes:

3.4.1 Tratamiento de datos del agua residual sin tratar

Con los resultados obtenidos de pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Temperatura, Concentración de Cianuro Total y la producción de Tratamientos Térmicos y Termoquímicos se analizaron los datos tal como se indica en la Tabla 8:

Tabla 8: Gráficos de Tendencia

#	Gráfico $Y = f(X)$
1	$CN^-(mg/l) = f [t(\text{días laborables})]$
2	$CN^-(mg/l) = f [P(Kg)]$
3	$pH = f [CN^-(mg/l)]$

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Tabla 9: (Continuación)

#	Gráfico $Y = f(X)$
1	$CN^-(mg/l) = f [t(\text{días laborables})]$
2	$CN^-(mg/l) = f [P(Kg)]$
3	$pH = f [CN^-(mg/l)]$
4	$Cond(ms/cm) = f [CN^-(mg/l)]$
5	$O_2 (mg/l) = f [CN^-(mg/l)]$
6	$T (°C) = f [CN^-(mg/l)]$

Fuente: Luna, 2016

3.4.2 Tratamiento de datos del agua residual tratada mediante oxidación química

Con los resultados obtenidos de los Experimentos 1, 2 y 3 se analizaron los datos de la siguiente manera:

- a) Cálculo de la media de los resultados de la concentración de cianuro total, conductividad, oxígeno disuelto y pH de las tres repeticiones de cada ensayo.
- b) Con las medias obtenidas se realizaron Gráficos de barras para los tres experimentos por cada dosificación, tal como se indica en la Tabla 8:

Tabla 10: Gráficos de Barras

#	Gráfico $Y = f(X)$
1	$CN^-(mg/l) = f [t(\text{min})]$
2	$pH = f [CN^-(mg/l)]$
3	$Cond(ms/cm) = f [CN^-(mg/l)]$
4	$O_2 (mg/l) = f [CN^-(mg/l)]$

Fuente: Luna, 2016

- c) Cálculo de la eficiencia del tratamiento
 - Para determinar la eficiencia del tratamiento para los tres experimentos se calculó el % de reducción de cianuros, se utilizó la siguiente fórmula:

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

$$\%R = \frac{(CN^{-i} - CN^{-f})}{CN^{-i}} * 100$$

Ec. 17.0

- Con los resultados de % de Reducción de cada ensayo se obtuvieron las medias de las tres repeticiones.
- Con las medias obtenidas se realizaron Gráficos de barras comparativos de los tres experimentos, tal como se indica en la Tabla 10:

Tabla 11: Gráficos de Barras comparativos

#	Gráfico Y = f(X)
1	CN ⁻ (mg/l) y R ⁻ (%) = f [Dosificación(mg)]

Fuente: Luna, 2016

- d) Para los cálculos estadísticos de CN⁻ (mg/l), pH, conductividad, y oxígeno disuelto se aplicó ANOVA.
- e) Selección del tratamiento adecuado del agua residual para la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A., para lo cual se consideró las variables de eficiencia del método, tiempo de reacción, consumo de reactivos.
- f) Evaluación del costo del tratamiento del agua residual para la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A., con base al método seleccionado se evaluó: el costo de químicos para el tratamiento, costo de análisis de cianuros de agua residual y agua tratada, además se evaluó el costo de los químicos utilizados para la clarificación.
- g) Se estableció un pre diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, y se evaluó el costo de la misma.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE LA TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL

Se tomaron 6 muestras de agua residual del tanque de lavado de piezas de acero de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A. con frecuencia y hora determinadas, a continuación en la Tabla 11 los resultados de los parámetros medidos en las muestras.

Tabla 12: Parámetros físico-químicos de las muestras de agua residual según [Anexo B-1](#)

Muestras	Fecha	Hora	Peso acumulado(Kg)	Conductividad (ms/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	pH	T (°C)	CN- (mg/L)
Muestra 1	15/04/2016	10h00	703,82	3,60	5,89	11,72	19,60	2,150
Muestra 2	19/04/2016	15h00	1156,54	4,33	5,58	11,66	23,77	4,750
Muestra 3	21/04/2016	10h00	1355,24	5,68	5,23	11,78	20,47	6,600
Muestra 4	26/04/2016	15h00	2415,28	9,44	4,20	12,02	22,37	10,250
Muestra 5	28/04/2016	10h00	2582,12	11,2	4,50	12,13	22,17	15,450
Muestra 6	05/05/2016	15h00	3751,17	15,64	4,66	12,23	24,10	32,250

Fuente: Luna, 2016

En las siguientes figuras se analizó la relación de los parámetros medidos en la toma de muestras con respecto a la concentración de cianuros totales.

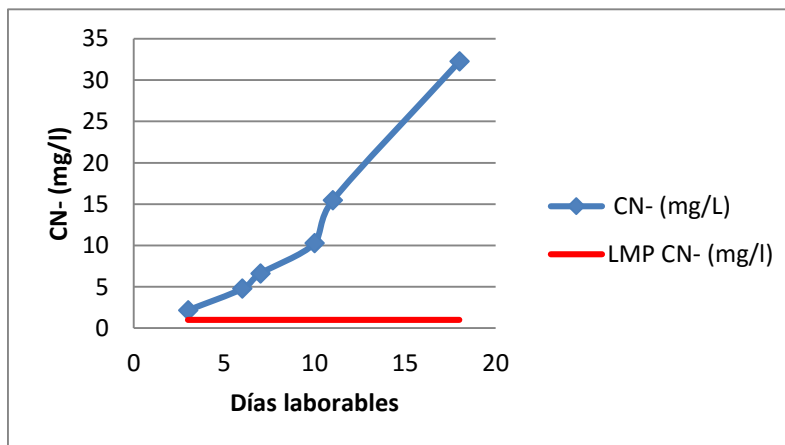


Figura 29: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función de días de producción laborables de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A. (**Autor:** Luna, 2016)

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

En la Figura 29 se observa que en función de los días de producción laborables existe incremento de la contaminación del agua residual por cianuros, llegando en 4 semanas (17 días laborables) a un valor de 32.250 mg/l, lo que indica que se encuentra bastante alejado hacia afuera del límite máximo permisible establecido por la normativa ambiental vigente (1mg/l); por lo que requiere de un tratamiento para al menos tratar de acercarse a los límites considerando que se realizará recirculación para el proceso de lavado.

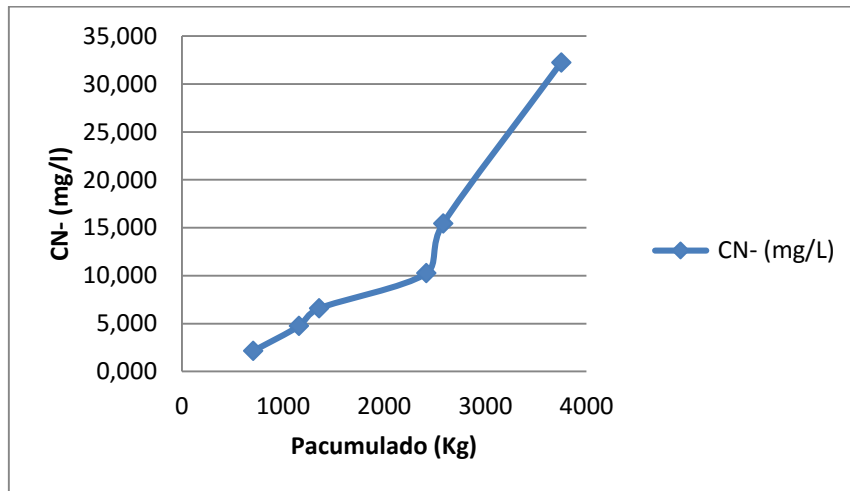


Figura 30: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función de la producción en peso de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.

Autor: Luna, 2016

En la Figura 30 se observa que la concentración de cianuros totales incrementa de forma variable en función de la producción, esto por razones que la producción no tiene un valor fijo por día en la empresa, así como también los tratamientos térmicos y termoquímicos varían en función de los requerimientos del cliente. Además se observa que a partir del día 10 con producción acumulada de 2582.12 Kg de piezas lavadas existe una aceleración en el incremento de contaminación del agua con cianuros, esto se produce por incremento en la titulación en el baño de sales en los hornos.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

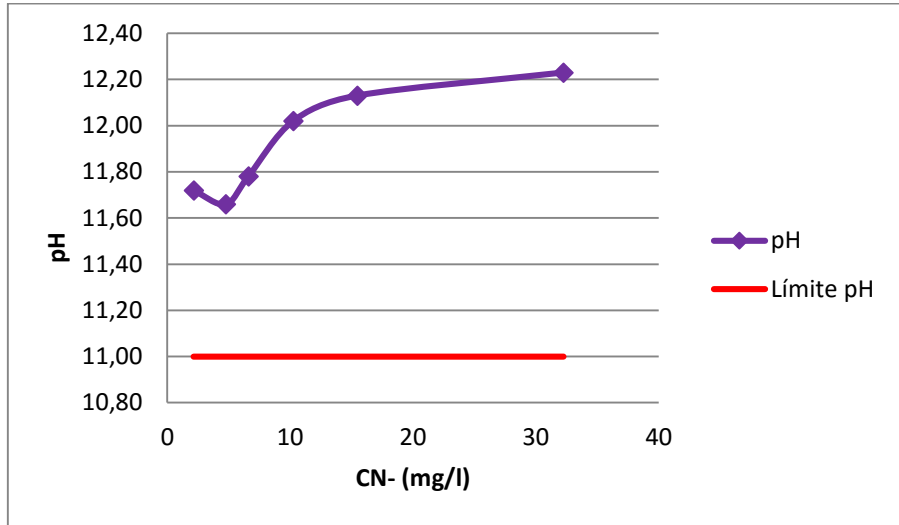


Figura 31: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.

Autor: Luna, 2016

En la Figura 31 se observa que el pH del agua residual es alcalino, lo cual permite que el agua se encuentre en las condiciones deseadas para aplicar el tratamiento, así como también evita la formación de gas cianhídrico puesto que el pH se encuentra sobre un valor de 11.5.

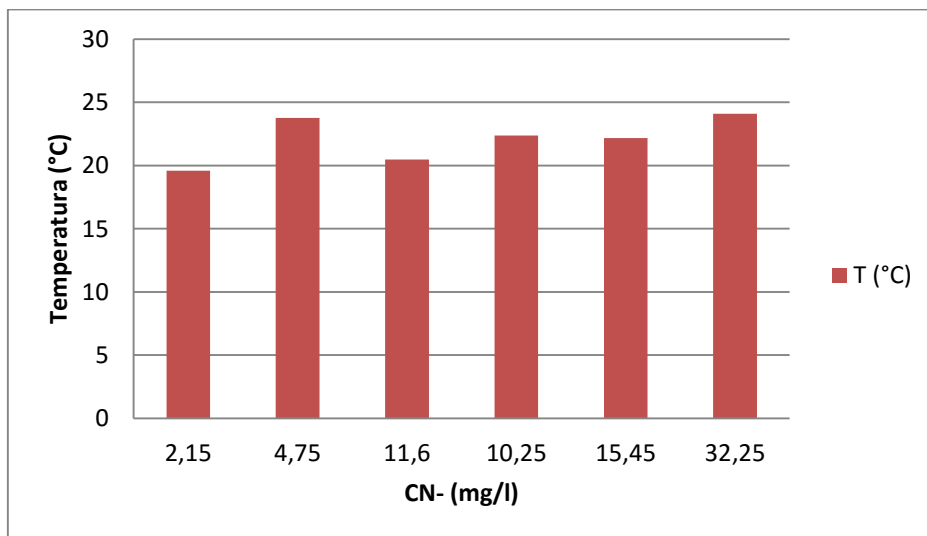


Figura 32: Gráfico de la de la temperatura en función de la concentración de cianuros totales del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.

Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

En la Figura 32 se observa una variación de la Temperatura del agua residual en el tanque de lavado entre 19°C y 24 °C, esto depende de la cantidad de piezas a enfriarse que se introducen en el mismo.

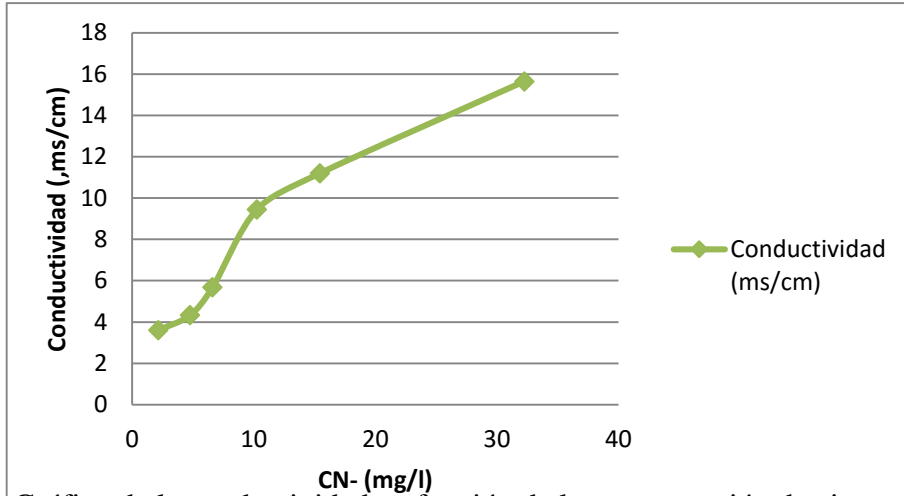


Figura 33: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.

Autor: Luna, 2016

En la Figura 33 se observa incremento de la conductividad en función del aumento de la contaminación del agua residual con cianuros, siendo un indicador de los sólidos disueltos que contiene el agua.

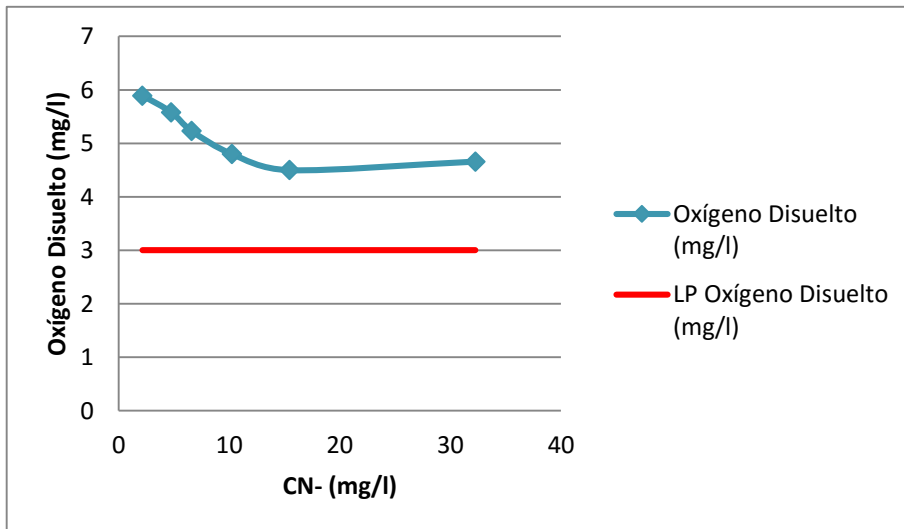


Figura 34: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.

Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

En la Figura 34 se observa que a medida que se incrementa la concentración de cianuros en el agua residual el oxígeno disuelto disminuye, siendo un indicador de contaminación del agua; este se encuentra dentro del límite permisible y no existe gran variación de oxígeno con respecto a la inicial.

4.2 RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL MEDIANTE OXIDACIÓN QUÍMICA

De los tratamientos aplicados mediante la oxidación química para la reducción de cianuros se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13: Medias de las variables medidas después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) según [Anexo B-2](#), [Anexo B-3](#) y [Anexo B-4](#)

Dosificación (ml)	tiempo de reacción (minutos)	Media de CN-(mg/l)	Media de Conductividad (ms/cm)	Media de Oxígeno Disuelto (mg/l)	Media de pH
D1 (0.058)	30	25,667	15,06	7,22	11,42
	60	17,467	14,92	7,47	11,31
D2 (0.087)	30	27,718	15,01	9,02	11,40
	60	20,977	15,08	9,26	11,29
D3 (0.23)	30	28,133	14,75	8,92	11,40
	60	21,933	14,71	8,05	11,22

Fuente: Luna, 2016

A continuación se realizan gráficos comparativos para evaluar la influencia de las variables independientes en el tratamiento del agua residual con respecto al agua sin tratamiento, para ello se considera la siguiente nomenclatura:

AR: Agua Residual

AT: Agua Tratada

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

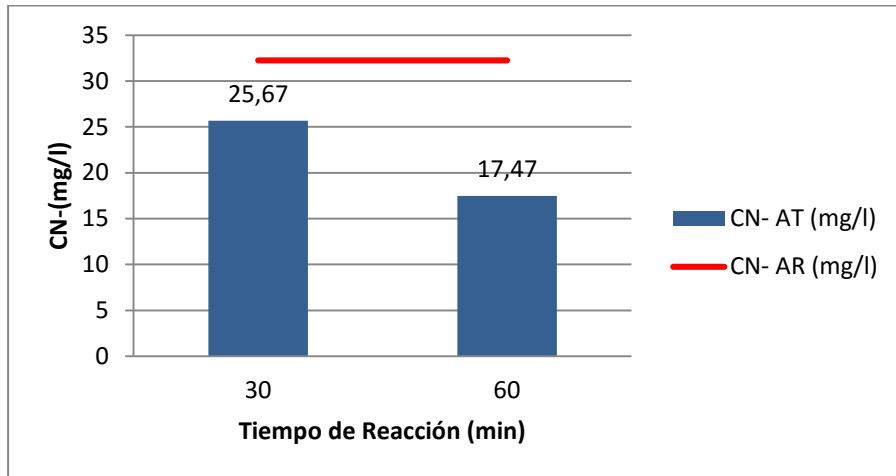


Figura 35: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a D1 (0.058ml)

Autor: Luna, 2016

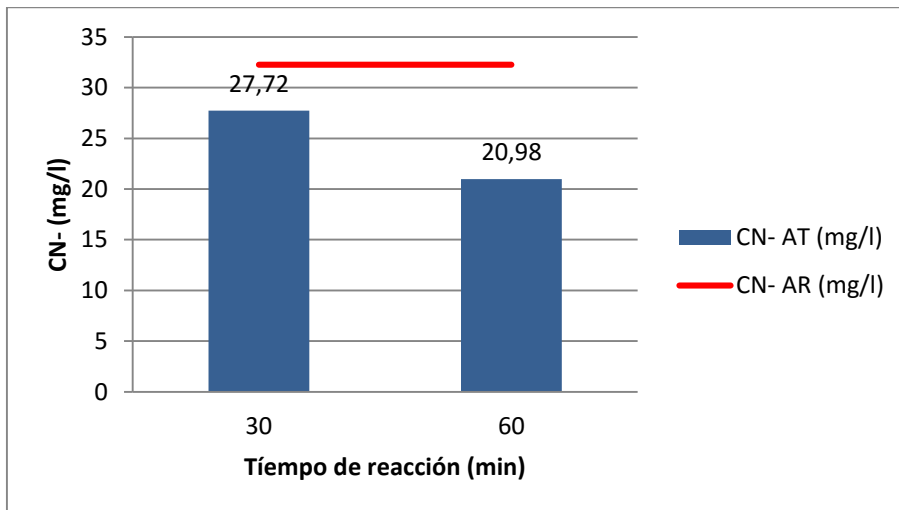


Figura 36: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a D2 (0.087ml)

Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

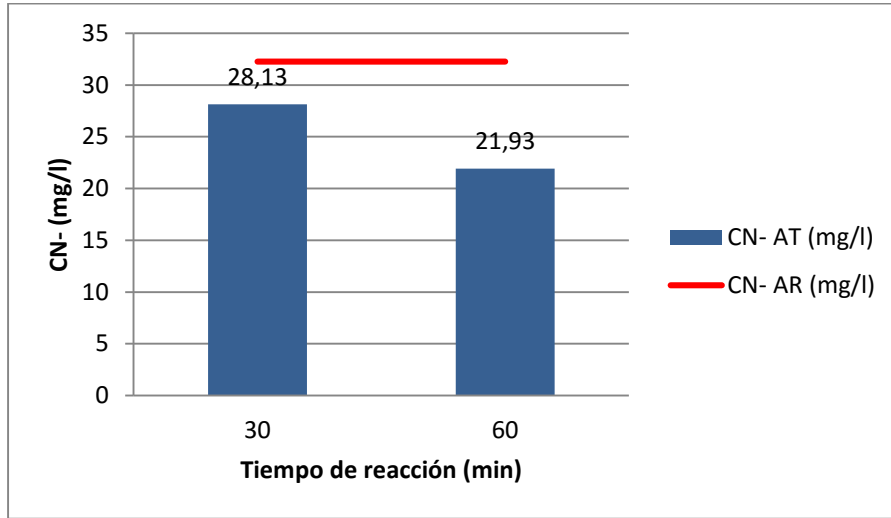


Figura 37: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a D3 (0.23 ml)
Autor: Luna, 2016

En las Figuras 35, 36 y 37 se observa la influencia de la variable del tiempo para la reducción de cianuros, indicando que a medida que aumenta el tiempo el decremento con respecto a los 30 min es de aproximadamente el 24% más para las 3 dosificaciones.

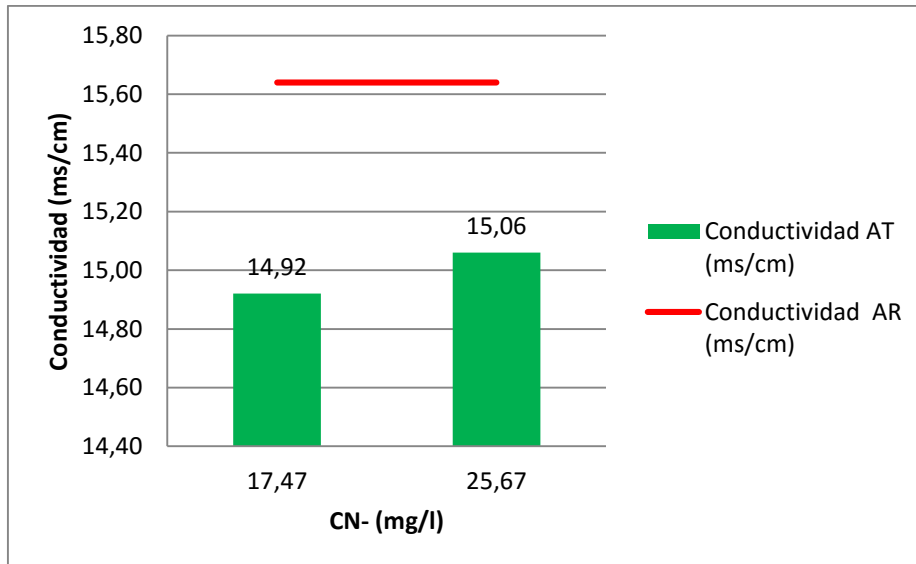


Figura 38: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D1 (0.058ml)
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

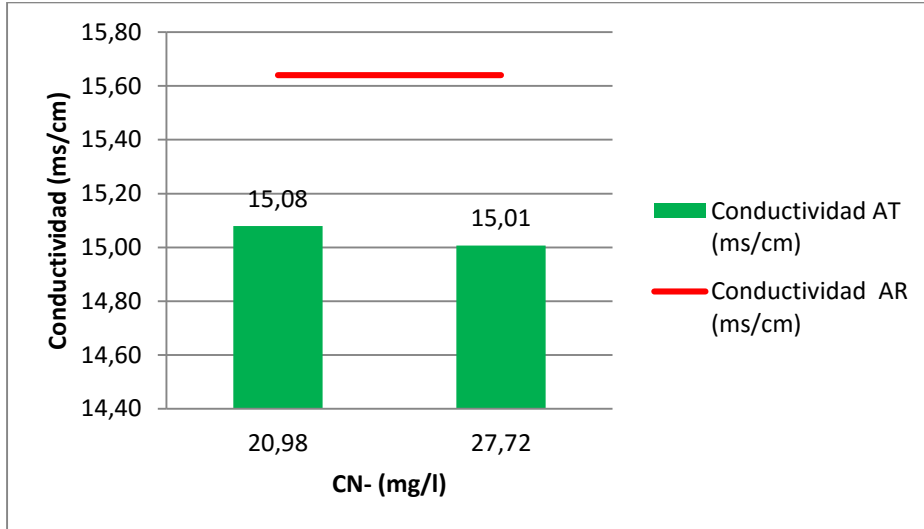


Figura 39: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D2 (0.087ml)

Autor: Luna, 2016

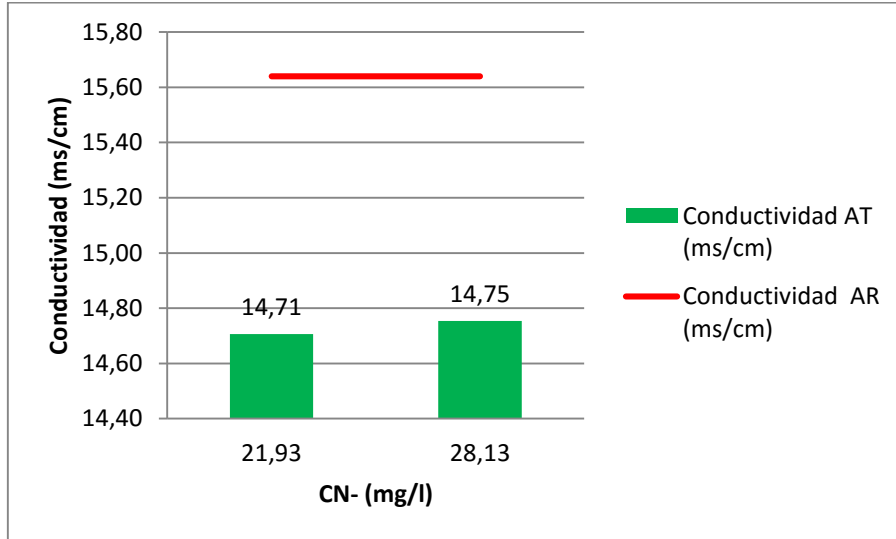


Figura 40: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D3 (0.23 ml)

Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

En las Figuras 38, 39 y 40 se observa que la conductividad del agua tratada con peróxido de hidrógeno disminuye para las tres dosificaciones con respecto a la conductividad del agua contaminada, siendo un indicador de la disminución de la contaminación del agua.

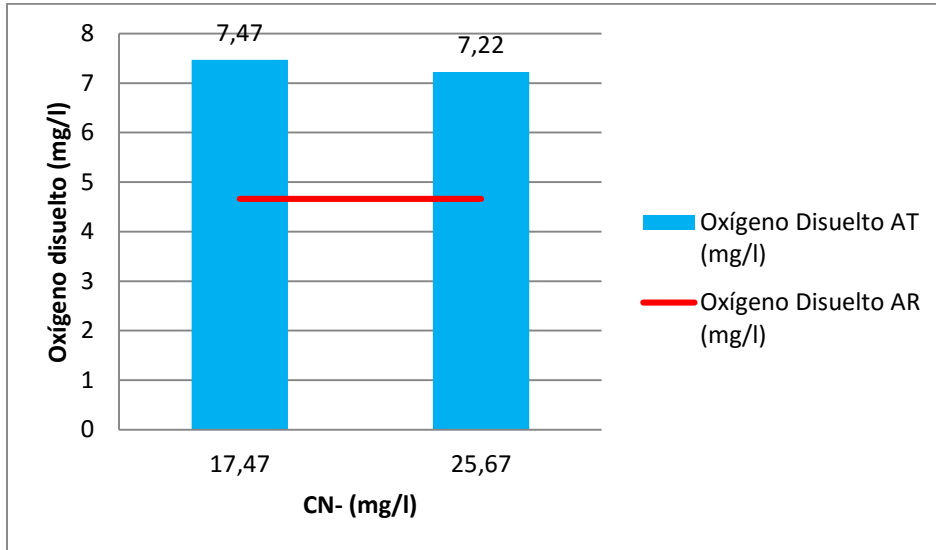


Figura 41: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D1 (0.058ml)
Autor: Luna, 2016

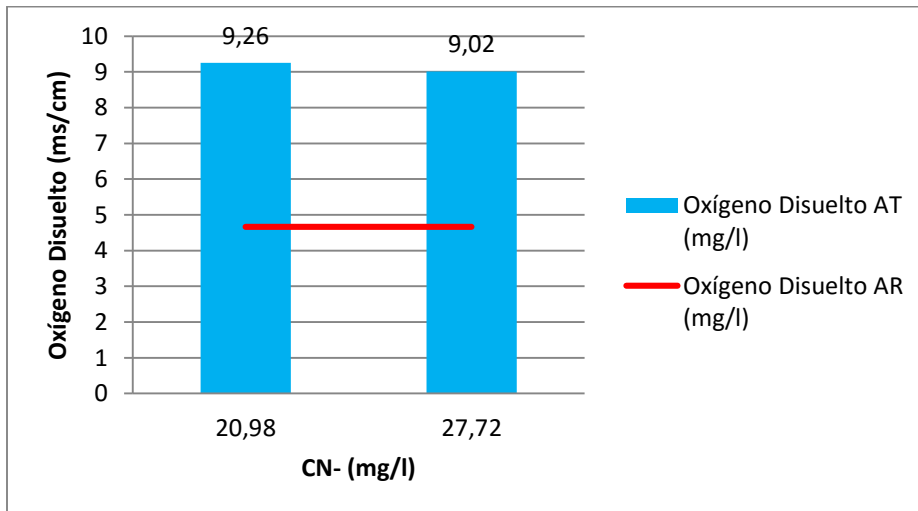


Figura 42: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D2 (0.087ml)
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

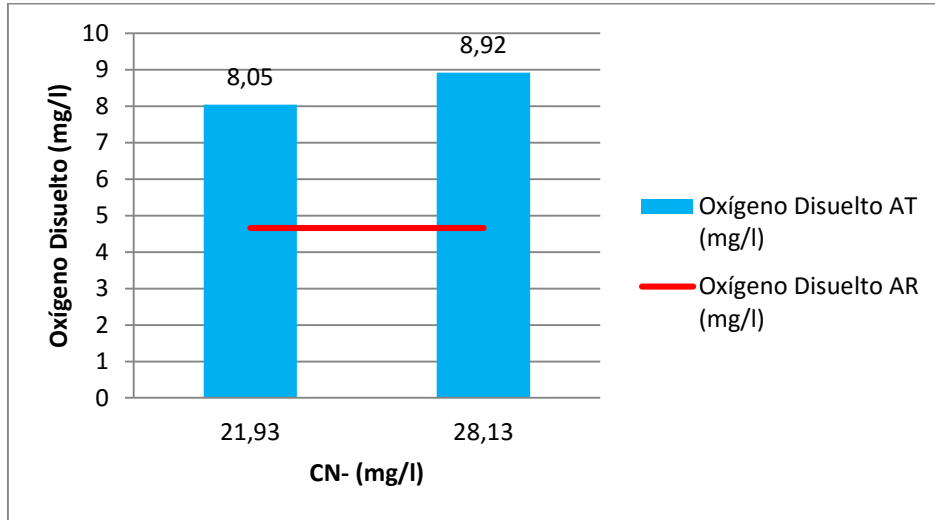


Figura 43: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D3 (0.23 ml)
Autor: Luna, 2016

En las Figuras 41, 42 y 43 se observa que para las tres dosificaciones de agente oxidante existe incremento de oxígeno disuelto, teniendo para la dosificación 2 mayor incremento con respecto a las dosificaciones 1 y 3, lo que indica que el agua no requiere ser oxigenada y que los niveles de contaminación han disminuido.

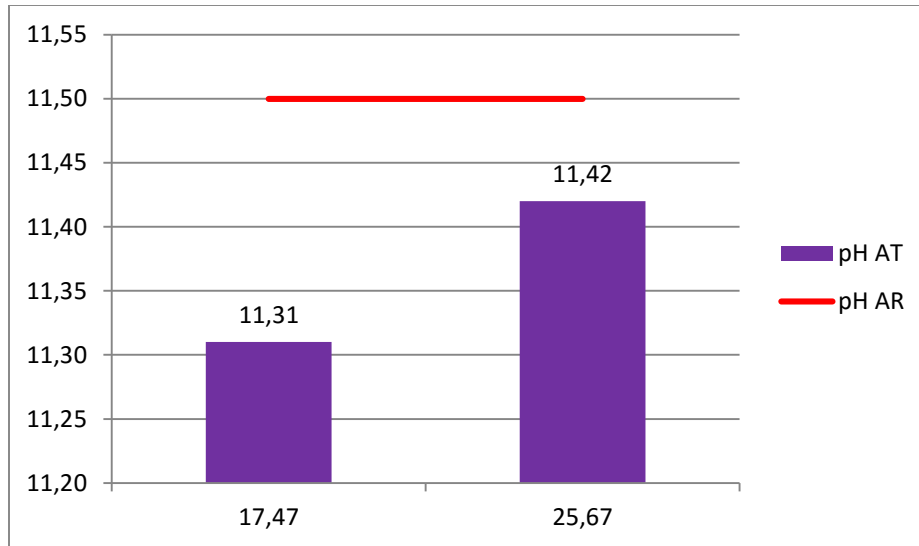


Figura 44: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D1 (0.058ml)
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

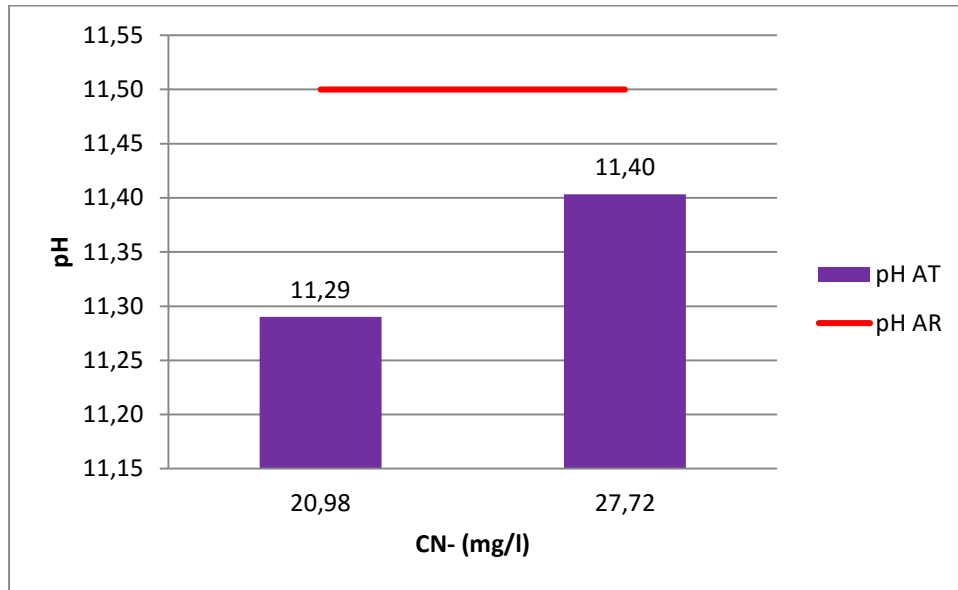


Figura 45: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D2 (0.087ml)
Autor: Luna, 2016

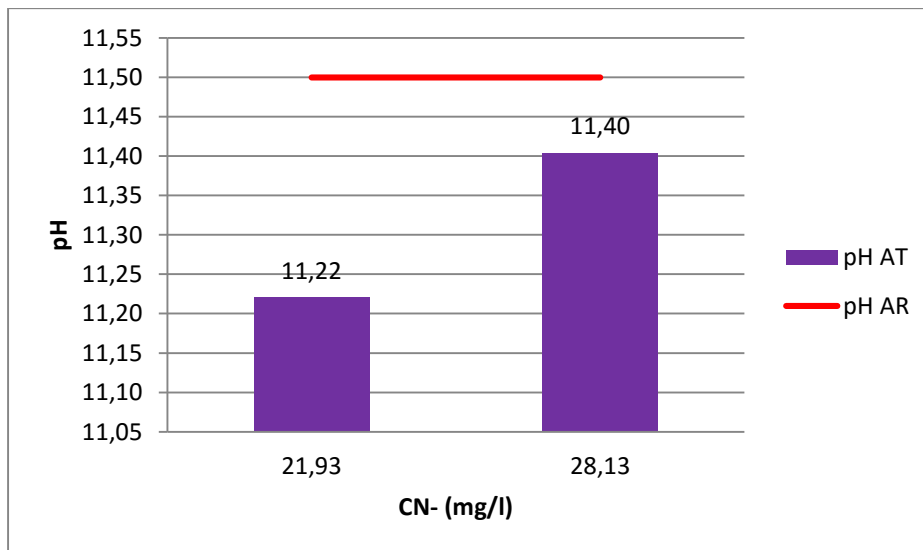


Figura 46: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) a D3 (0.23 ml)
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

En las Figuras 44, 45 y 46 se observa la disminución de pH con respecto al inicial, indicando que a mayor oxidación química de los cianuros el pH tiene un mayor decremento con respecto a los valores obtenidos en 30 minutos.

Tabla 14: Medias de las variables medidas después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O según [Anexo B-2](#), [Anexo B-3](#) y [Anexo B-4](#)

Dosificación (ml + g)	tiempo de reacción (minutos)	Media de CN-(mg/l)	Media de Conductividad (ms/cm)	Media de Oxígeno Disuelto (mg/l)	Media de pH
D1 (0.058 + 0.07)	30	9,867	14,90	10,24	11,38
	60	5,558	15,16	10,20	11,24
D2 (0.087 + 0.07)	30	14,767	15,15	11,66	11,40
	60	6,867	15,34	14,05	11,28
D3 (0.23 + 0.07)	30	15,133	15,03	12,23	11,42
	60	7,867	15,19	16,30	11,22

Fuente: Luna, 2016

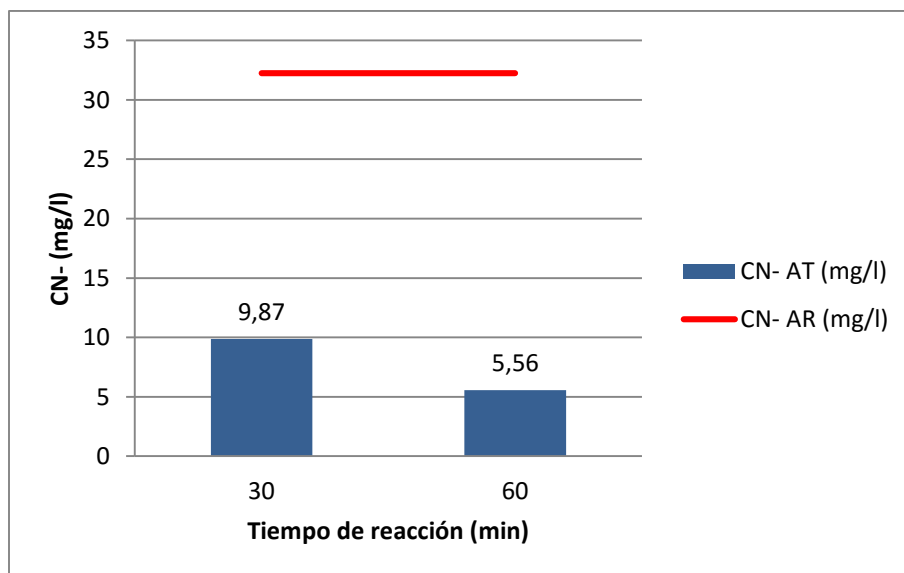


Figura 47: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D1 (0.058 ml + 0.07g)

Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

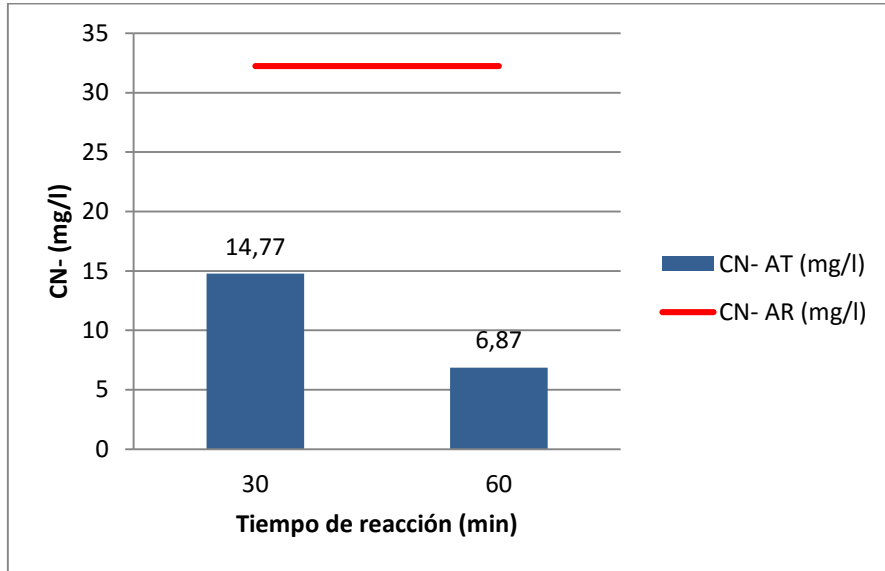


Figura 48: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a D2 (0.087ml+0.07g)
Autor: Luna, 2016

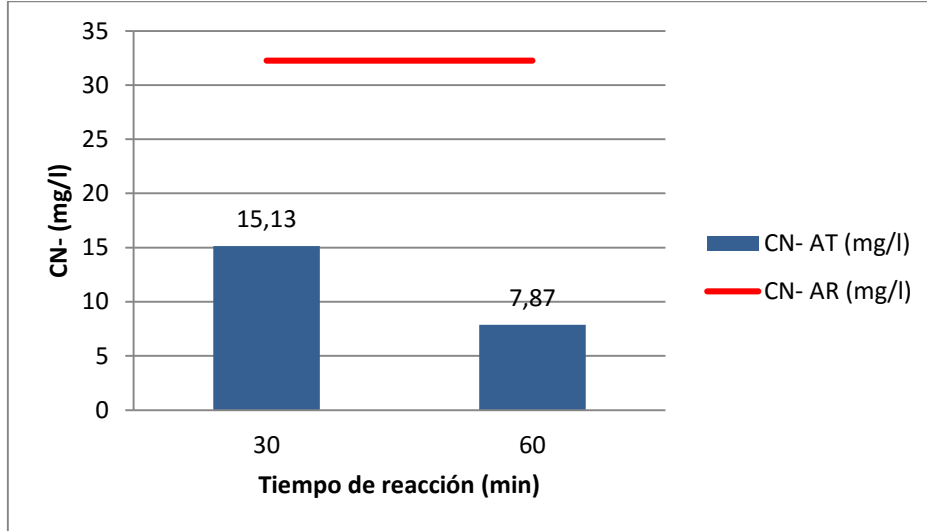


Figura 49: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a D3 (0.23ml+0.07g)
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

En las Figuras 47, 48 y 49 se observa que existe gran influencia del catalizador para acelerar la oxidación química de cianuros a cianatos, así como también la influencia directa del tiempo para lograr la reducción de los cianuros iniciales con las tres dosificaciones, sin embargo se aprecia que a mayores dosificaciones (D2 y D3) disminuye la eficiencia de la oxidación.

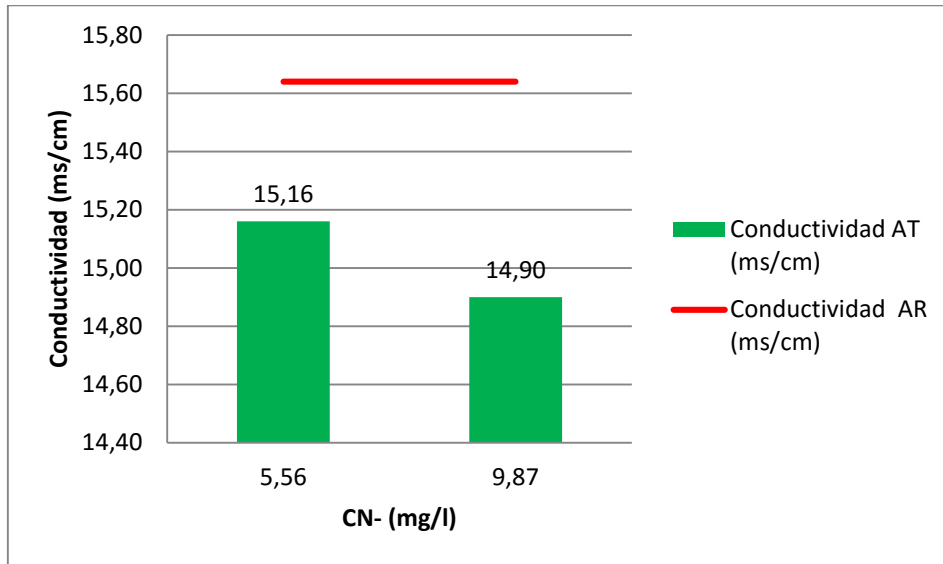


Figura 50: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a D1 (0.058 ml + 0.07g)
Autor: Luna, 2016

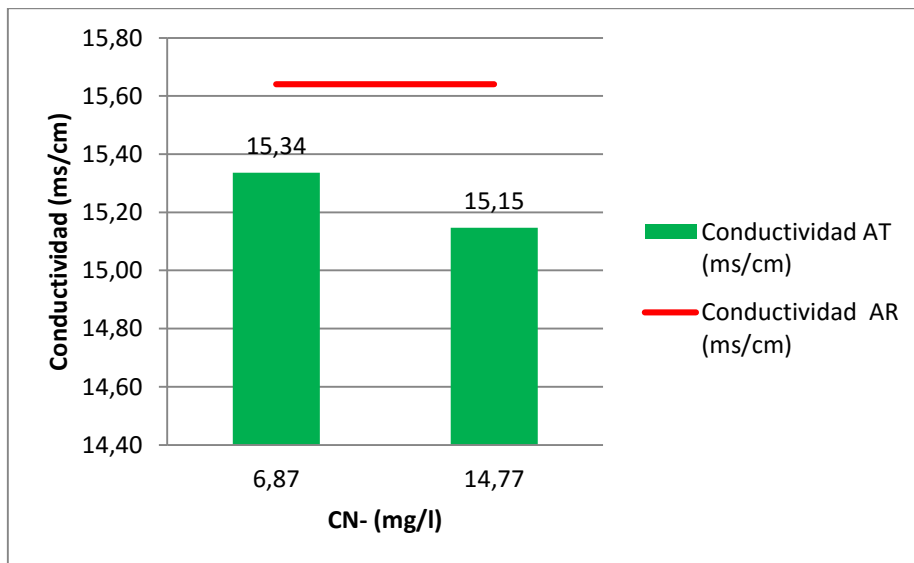


Figura 51: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a D2 (0.087ml+0.07g)
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

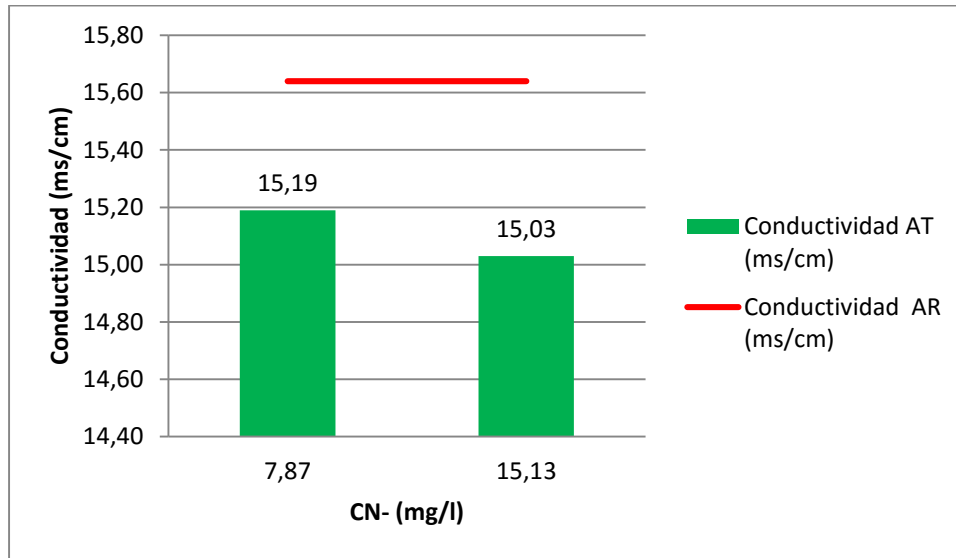


Figura 52: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a D3 (0.23ml+0.07g)

Autor: Luna, 2016

En las Figuras 50, 51 y 52 se observa que la conductividad incrementó con respecto a la oxidación solo con H_2O_2 , lo que indica que el catalizador influyó para que exista un aumento en la cantidad de sólidos disueltos en el agua tratada.

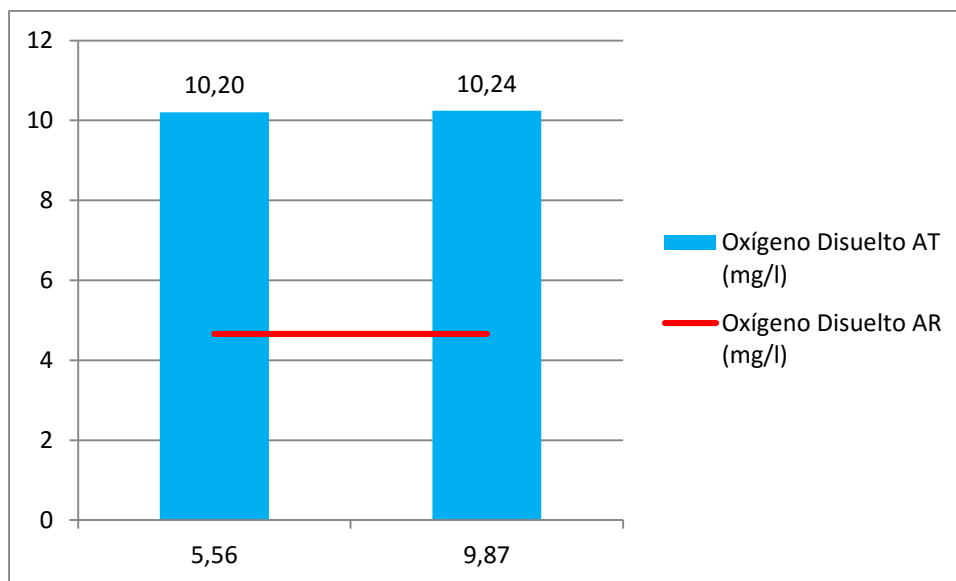


Figura 53: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a D1 (0.058 ml +0.07g)

Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

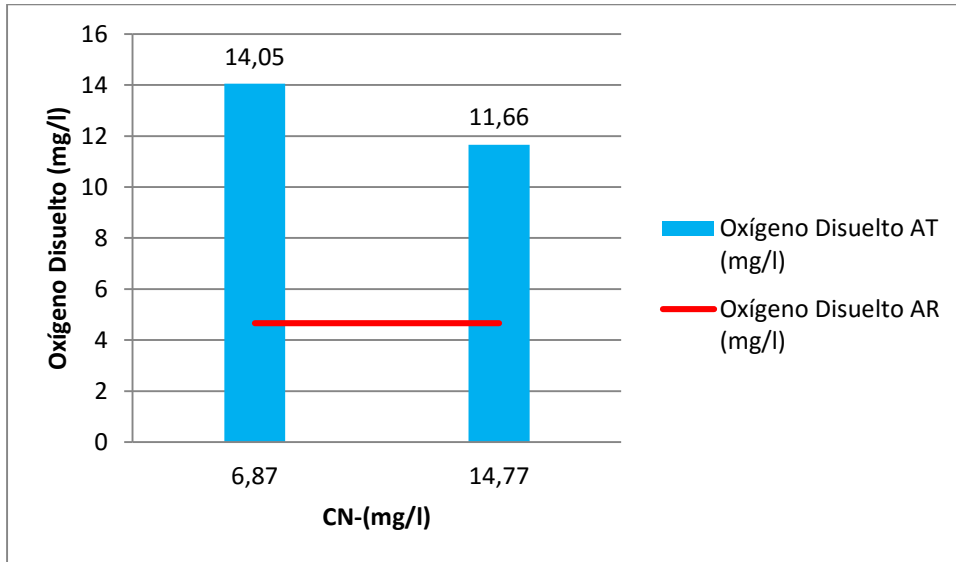


Figura 54: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a D2 (0.087ml+0.07g)

Autor: Luna, 2016

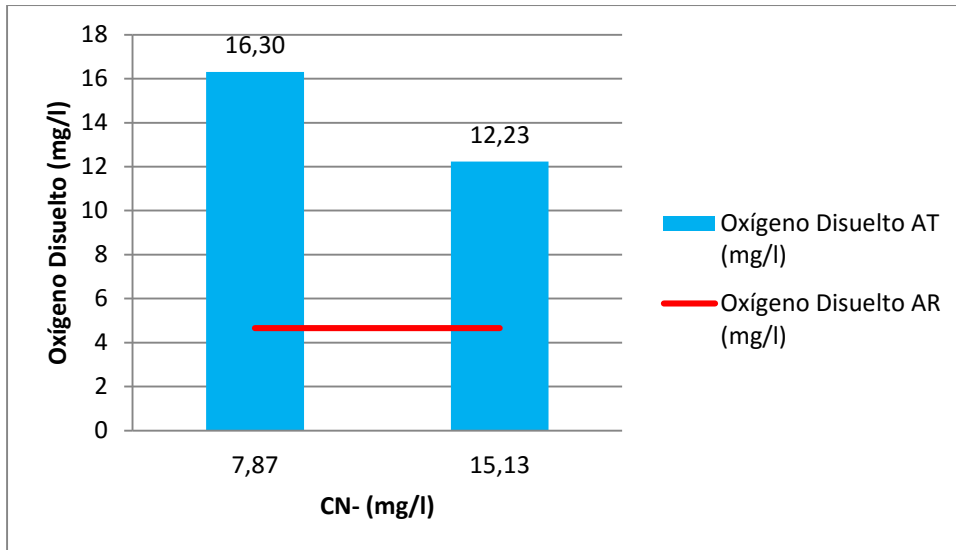


Figura 55: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a D3 (0.23ml+0.07g)

Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

En las Figuras 51, 52 y 53 se observa que el catalizador influye en el incremento de oxígeno disuelto con respecto al inicial, lo que indica que ha disminuido notablemente los niveles de contaminación por cianuros.

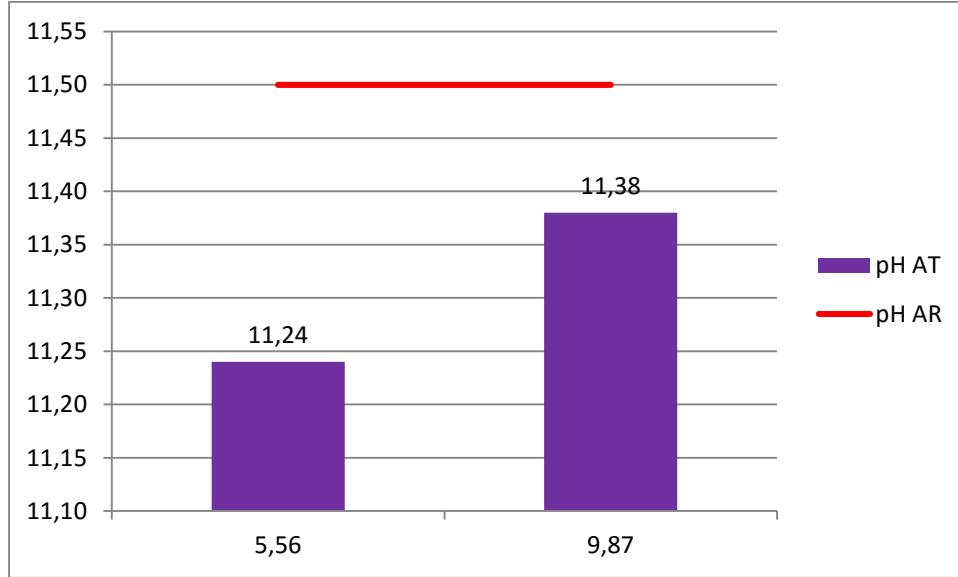


Figura 56: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D1 (0.058 ml +0.07g)
Autor: Luna, 2016

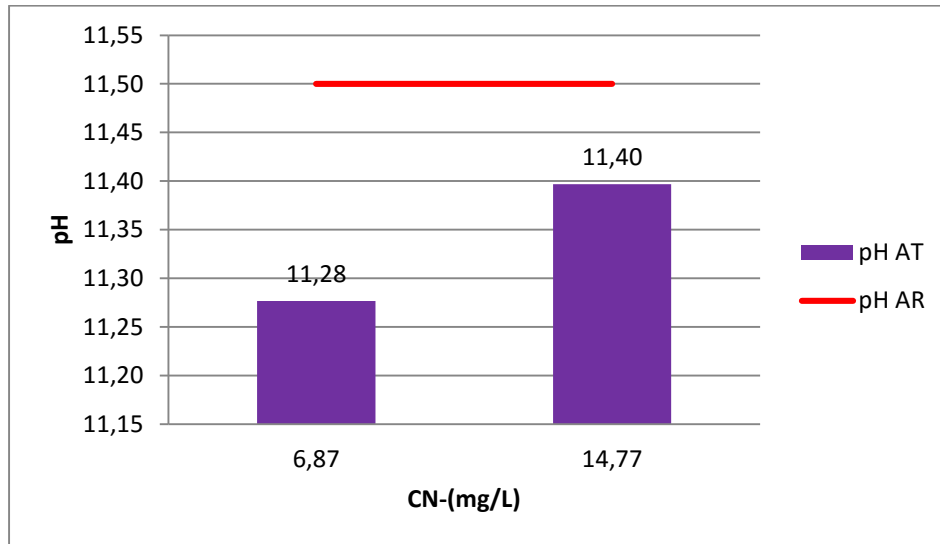


Figura 57: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a D2 (0.087ml+0.07g)
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

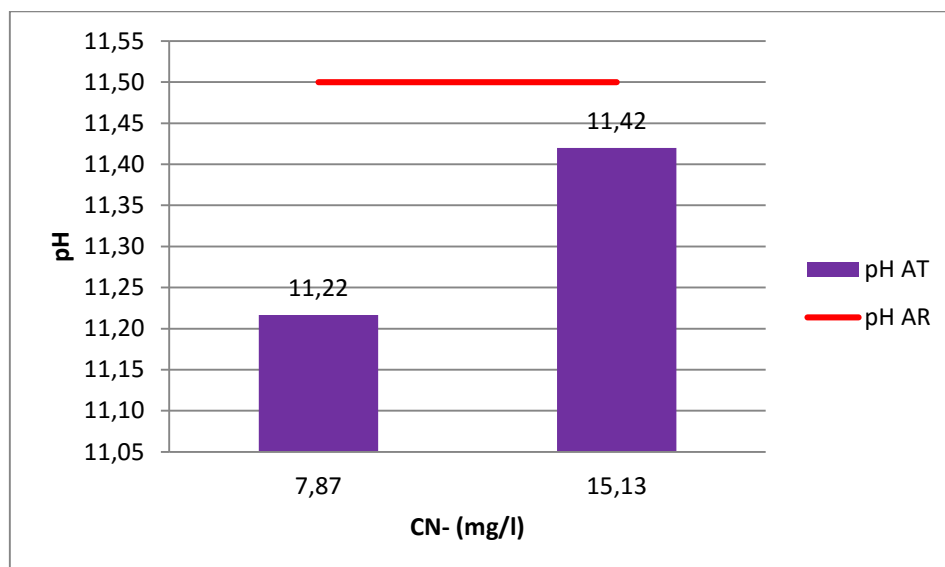


Figura 58: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a D3 (0.23ml+0.07g)

Autor: Luna, 2016

En las Figuras 56, 57 y 58 se observa que el catalizador no influye en la variación de pH con respecto al tratamiento solo con H_2O_2 , oscilando entre 11.22 y 11.42.

Tabla 15: Medias de las variables medidas después del tratamiento del agua residual con NaClO según [Anexo B-2](#), [Anexo B-3](#) y [Anexo B-4](#)

Dosificación (ml)	tiempo de reacción (minutos)	Media de CN-(mg/l)	Media de Conductividad (ms/cm)	Media de Oxígeno Disuelto (mg/l)	Media de pH
D1 (0.064)	30	25,433	13,45	5,47	11,44
	60	24,000	15,16	6,31	11,42
D2 (0.083)	30	27,120	14,79	7,09	11,33
	60	25,400	15,16	6,80	11,22
D3 (0.17)	30	28,530	15,49	6,78	11,31
	60	26,070	15,57	6,73	11,25

Fuente: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

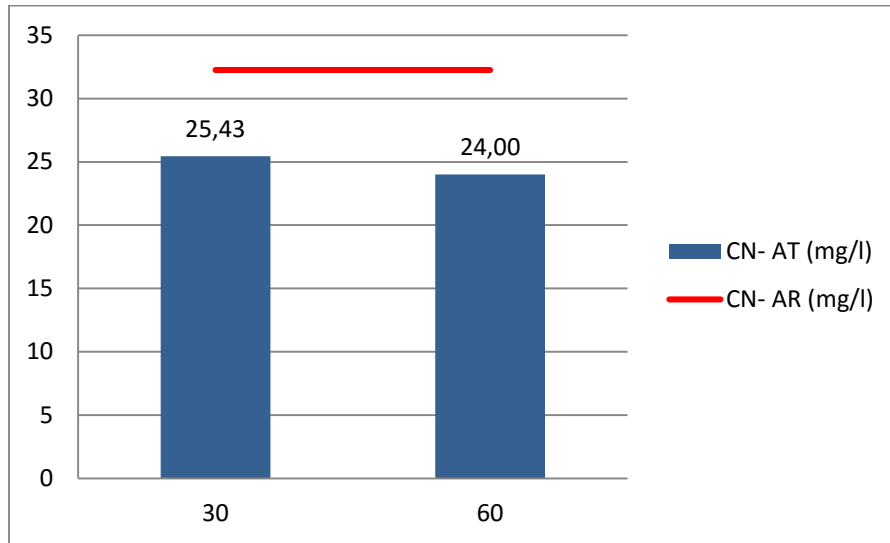


Figura 59: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a D1 (0.064ml)
Autor: Luna, 2016

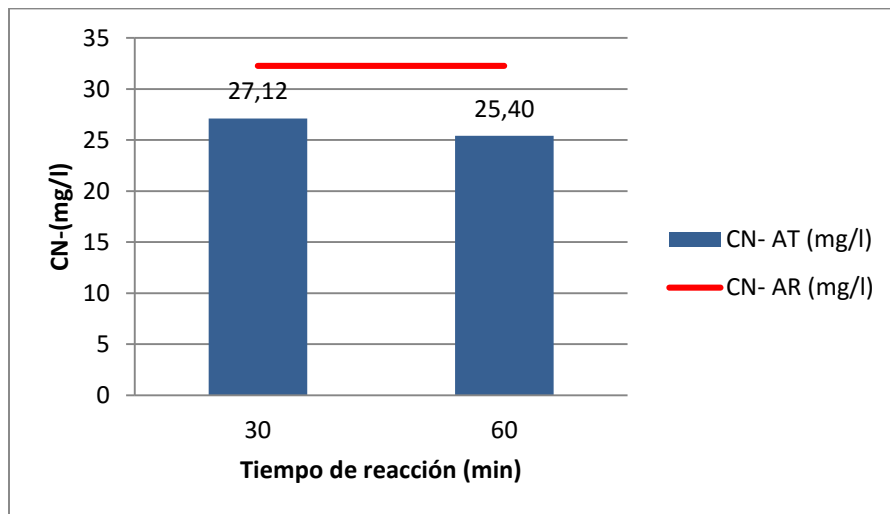


Figura 60: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a D2 (0.083ml)
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

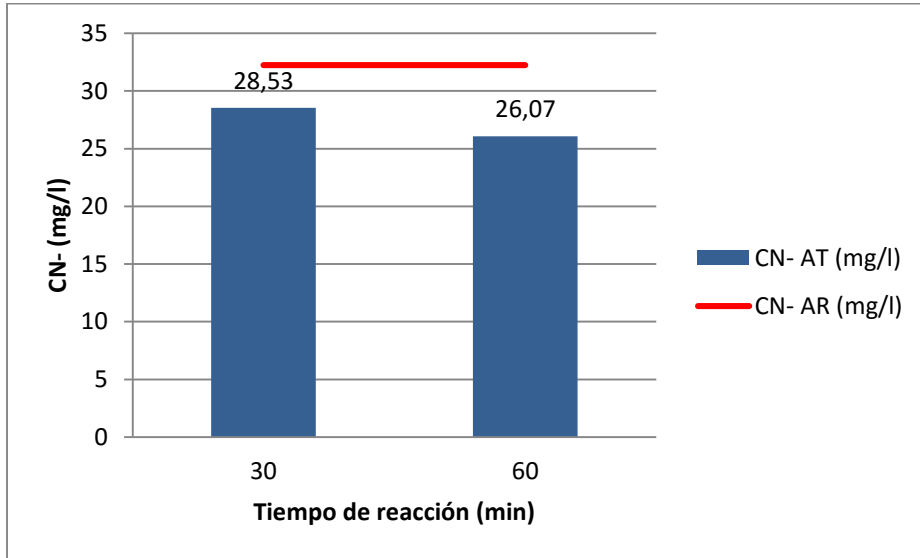


Figura 61: Gráfico de la concentración de cianuros totales en función del tiempo de reacción en el tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a D3 (0.17ml)

Autor: Luna, 2016

En las Figuras 59, 60 y 61 se observa que la reducción de cianuros con respecto a la inicial es baja, es decir que en el tratamiento aplicado con NaClO (10%) no influyó ni el tiempo ni las diferentes dosificaciones para que una mayor reducción de cianuros.

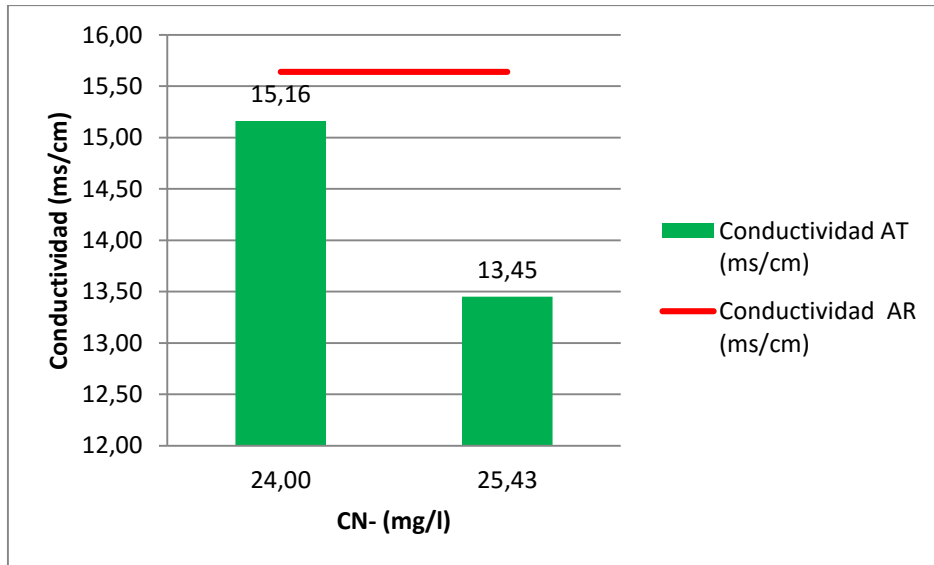


Figura 62: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D1 (0.064ml)

Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

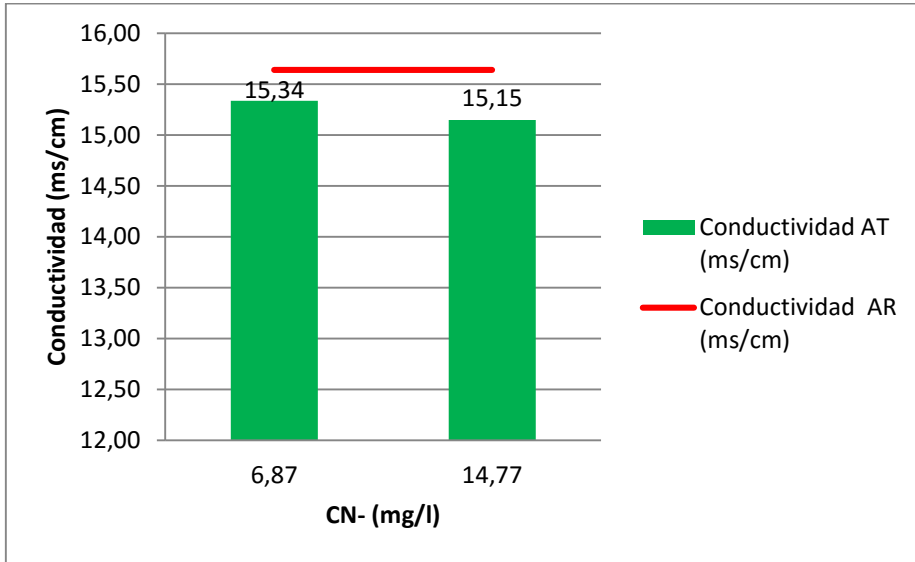


Figura 63: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D2 (0.083ml)
Autor: Luna, 2016

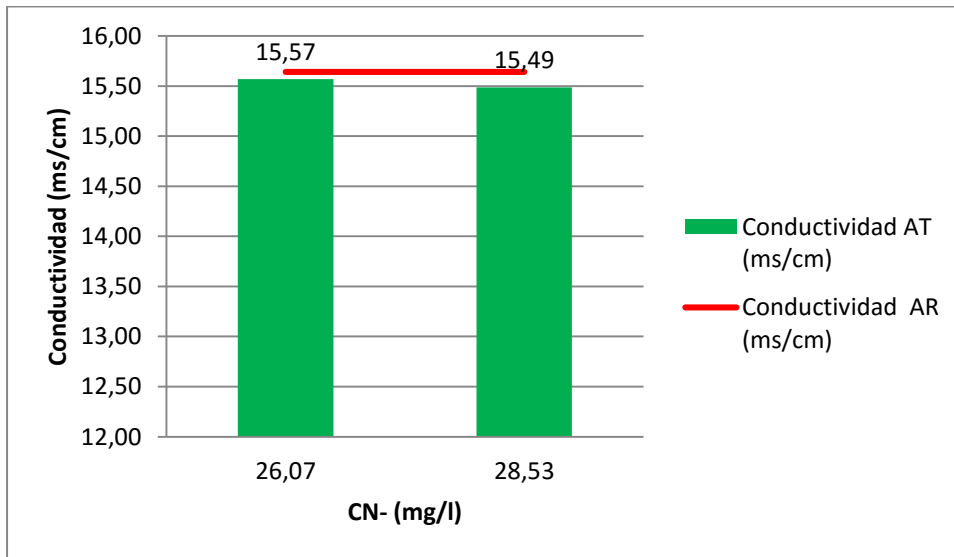


Figura 64: Gráfico de la conductividad en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D3 (0.17ml)
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

En las Figuras 62, 63 y 64 se observa que el decremento de la conductividad fue mínimo con respecto a la inicial medida en el agua contaminada, indicando con esto la presencia de sólidos disueltos y que el agua contiene altos niveles de contaminación.

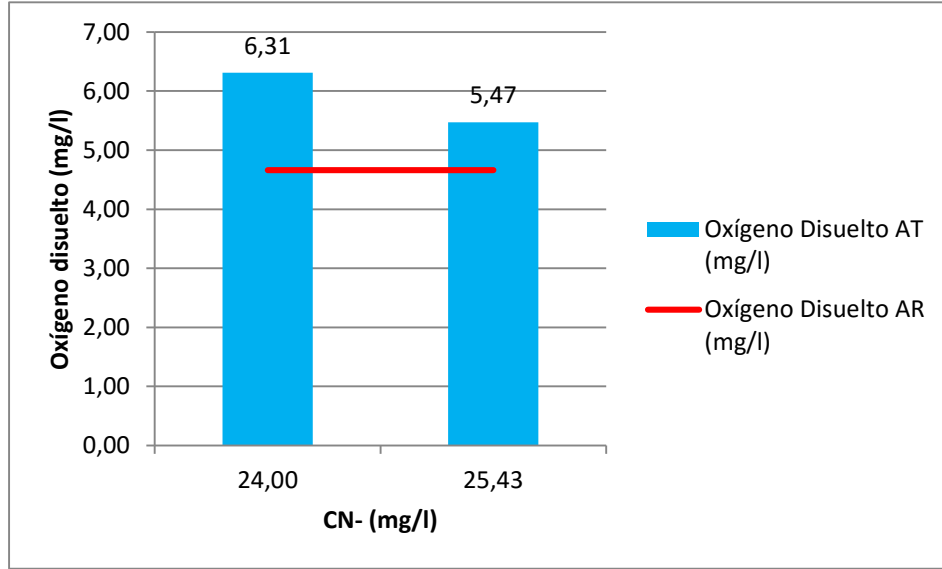


Figura 65: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D1 (0.064ml)

Autor: Luna, 2016

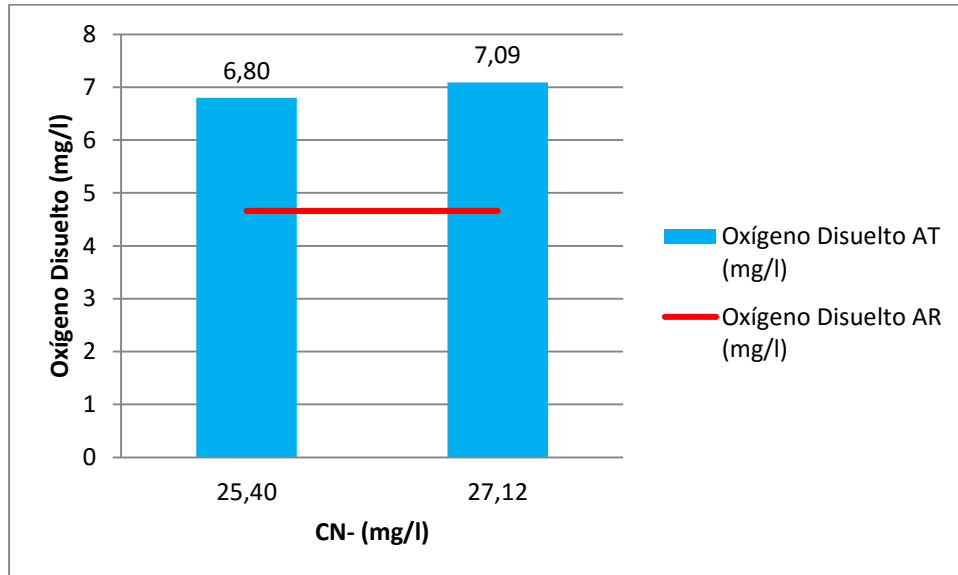


Figura 66: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D2 (0.083ml)

Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

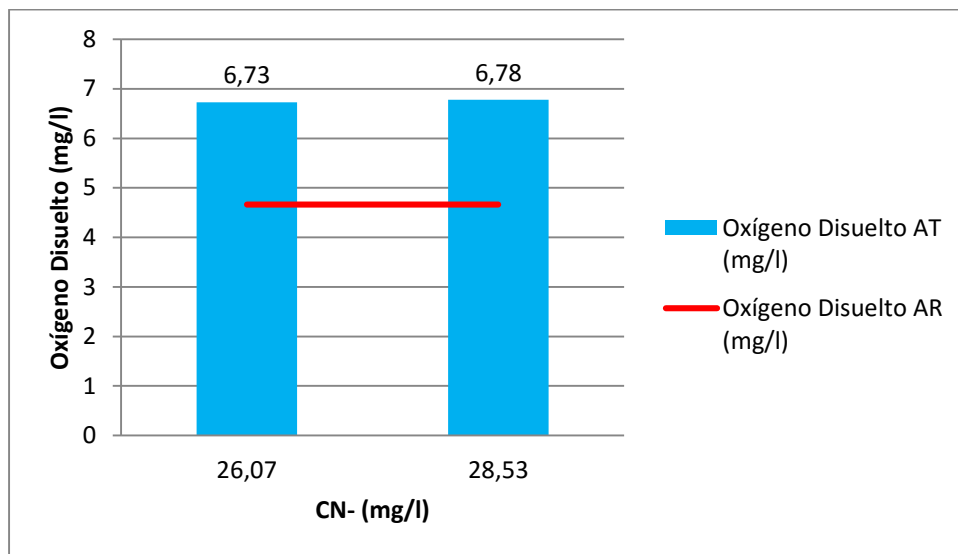


Figura 67: Gráfico del oxígeno disuelto en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D3 (0.17ml)
Autor: Luna, 2016

En las Figuras 65, 66 y 67 se observa que el oxígeno disuelto en el agua tratada con NaClO tiene un pequeño incremento con respecto al inicial, indicando con esto que el tratamiento no fue eficiente en estas pruebas.

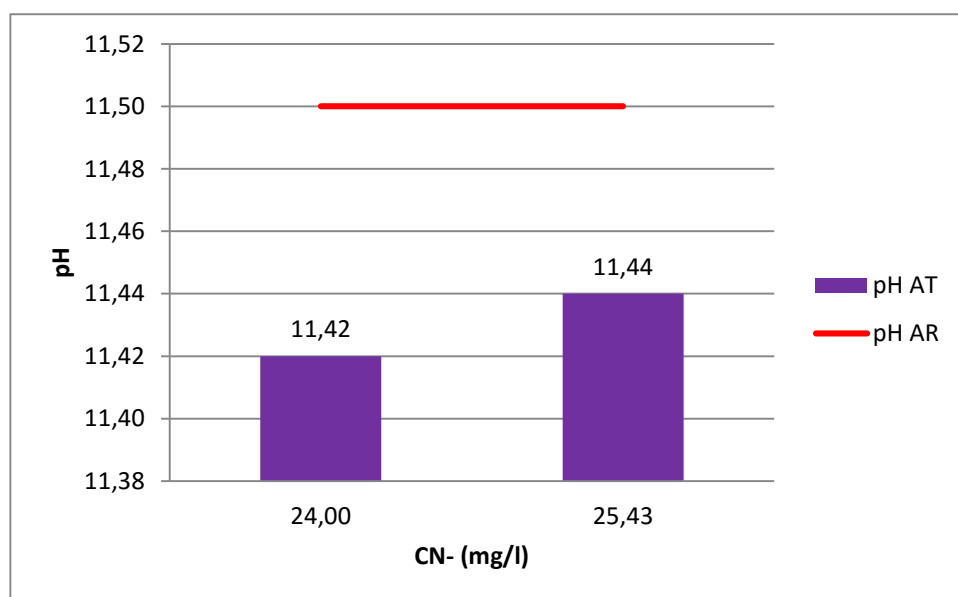


Figura 68: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D1 (0.064ml)
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

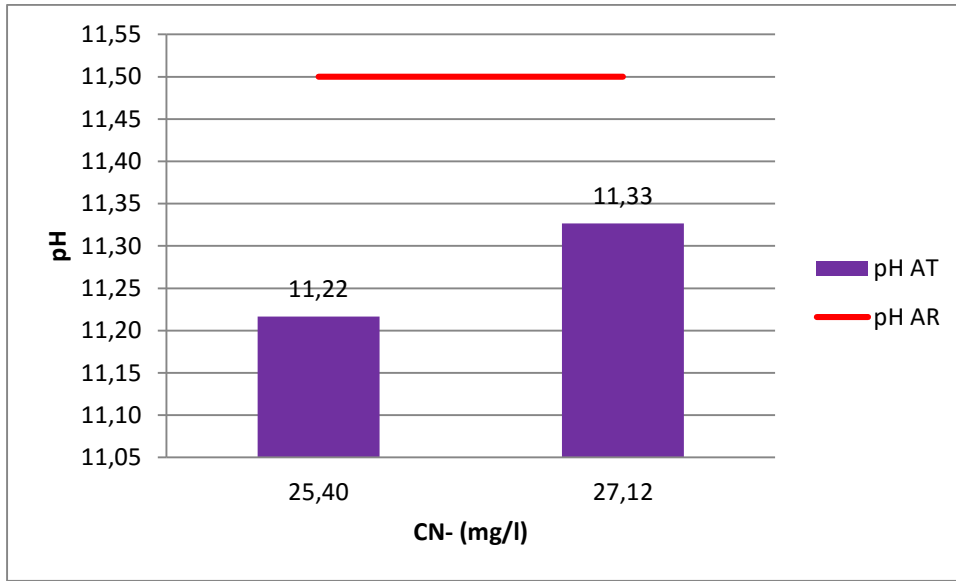


Figura 69: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D2 (0.083ml)
Autor: Luna, 2016

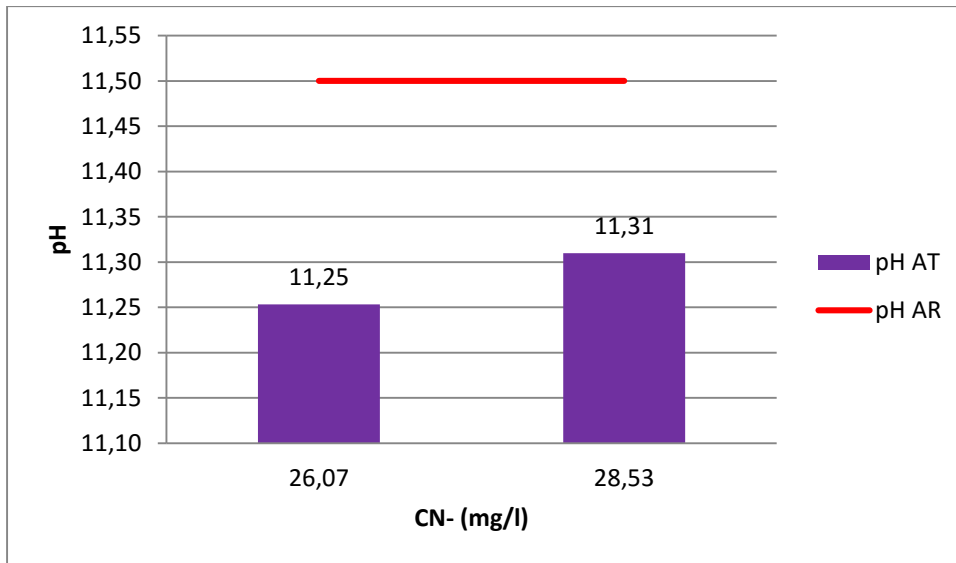


Figura 70: Gráfico del pH en función de la concentración de cianuros totales del agua tratada con NaClO (10%) a D3 (0.17ml)
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

En las Figuras 68, 69 y 70 se observa una disminución del pH con respecto al inicial manteniendo el agua en condiciones alcalinas.

Tabla 16: % Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%), a T=24°C y 700rpm.

Dosificación (ml)	30 min		60 min	
	CN-(mg/l)	% Reducción CN-	CN-(mg/l)	% Reducción CN-
D1 (0.058)	25,667	20,41	17,467	45,84
D2 (0.087)	27,718	14,05	20,977	34,96
D3 (0.23)	28,133	12,76	21,933	31,99

Fuente: Luna, 2016

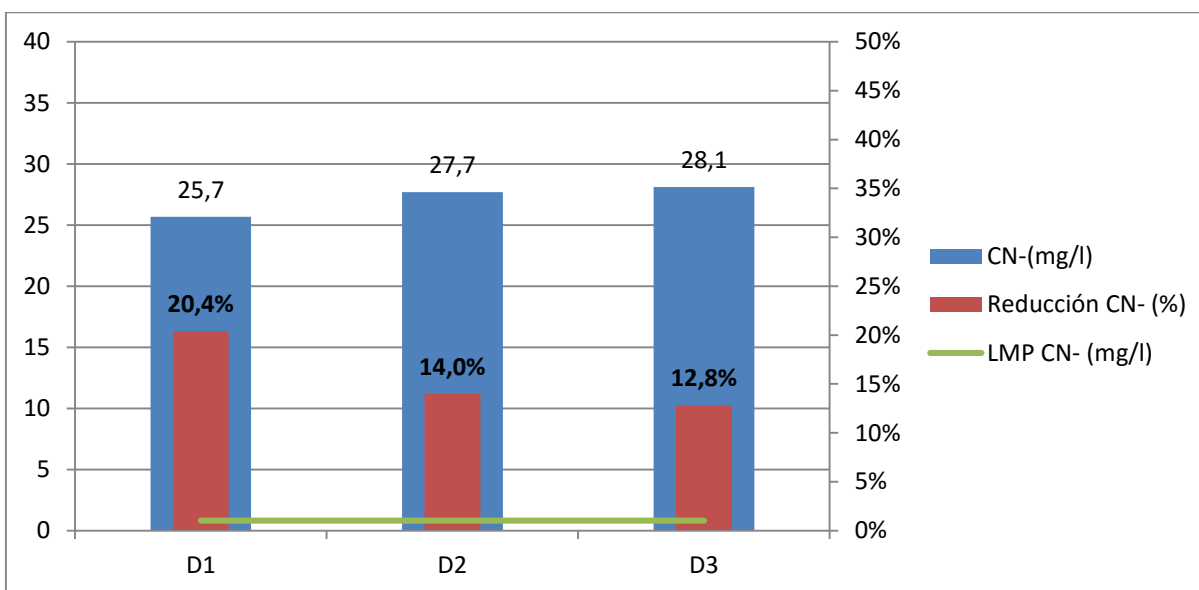


Figura 71: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a un t=30 min, con D1, D2 y D3

Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

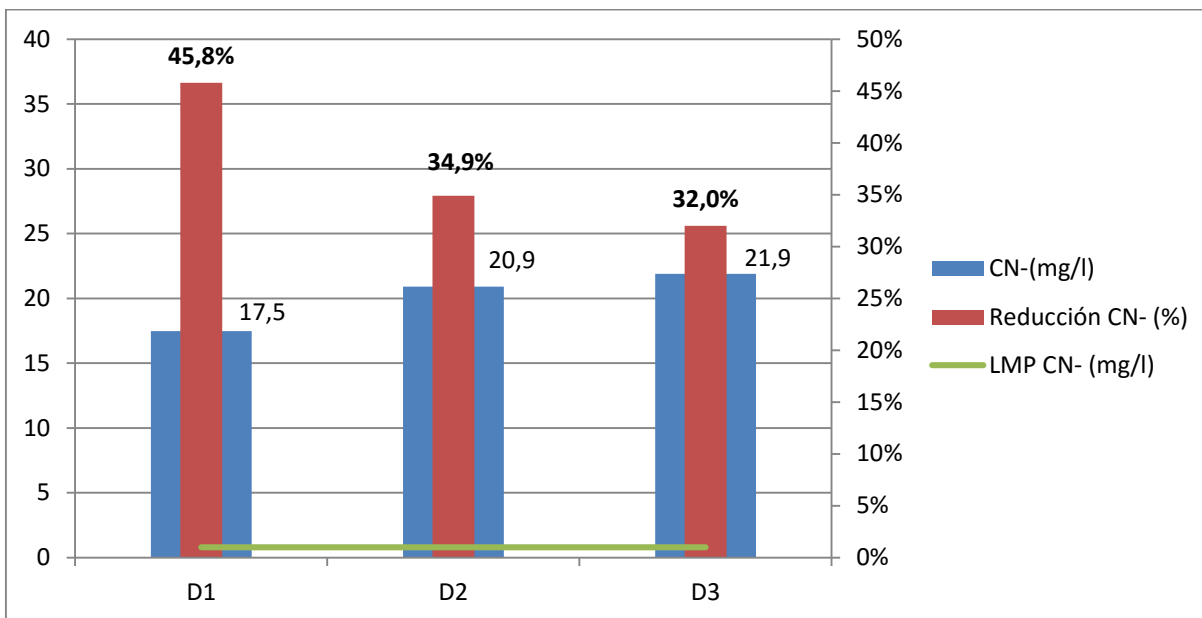


Figura 72: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a un t=60 min, con D1, D2 y D3
Autor: Luna, 2016

En las Figuras 71 y 72 se observa que la oxidación química que mostró mayor eficiencia en el tratamiento con H₂O₂ (30%) es la dosificación 1(0.058ml) a un tiempo de reacción de 60 min, obteniendo un % de Reducción de Cianuros totales del 45.8%, para las tres dosificaciones aplicadas en un tiempo de 30 min se tuvo una reducción baja entre el 12 y 20%.

Tabla 17: % Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O, a T=24°C y 700rpm.

Dosificación (ml + g)	30 min		60 min	
	CN-(mg/l)	% Reducción CN-	CN-(mg/l)	% Reducción CN-
D1 (0.058 + 0.07)	9,867	69,41	5,558	82,76
D2 (0.087 + 0.07)	14,767	54,21	6,867	78,71
D3 (0.23 + 0.07)	15,133	53,07	7,867	75,61

Fuente: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

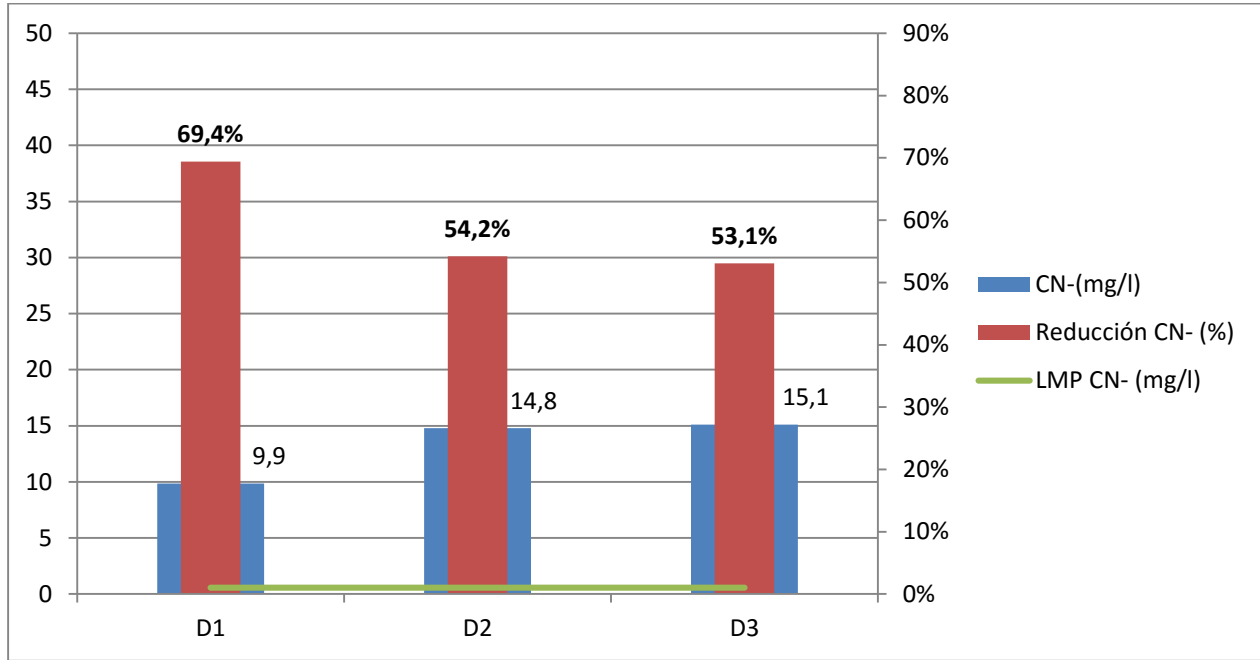


Figura 73: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a un $t=30$ min, con D1, D2 y D3
Autor: Luna, 2016

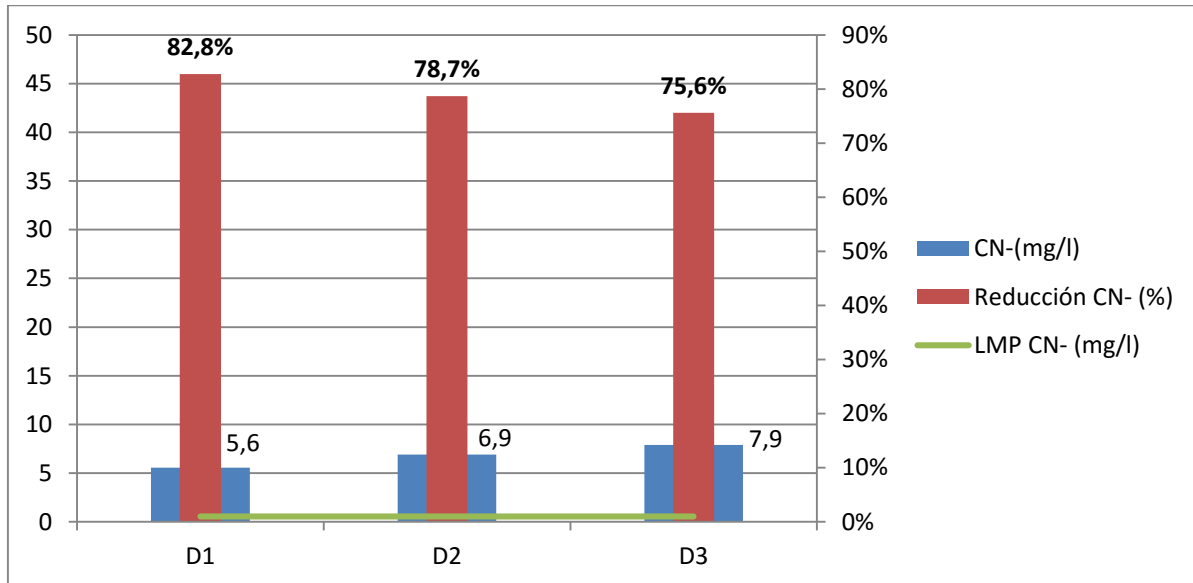


Figura 74: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ a un $t=60$ min, con D1, D2 y D3
Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

En las Figuras 73 y 74 se observa que existió una gran influencia al adicionar catalizador al peróxido de hidrógeno al 30%, obteniendo que la dosificación más eficiente para la oxidación química de cianuros a cianatos fue la dosificación 1 (0.058 ml + 0.07g) a un tiempo de 60 min, para las dosificaciones 2 y 3 se aprecia que la influencia del aumento de tiempo de 30 min a 60 min influye en la disminución de cianuros en un porcentaje que varía entre 22 y 24%.

Tabla 18: % Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con NaClO (10%), a T=24°C y 700rpm.

Dosificación (ml)	30 min		60 min	
	CN-(mg/l)	% Reducción CN-	CN-(mg/l)	% Reducción CN-
D1 (0.064)	25,433	21,14	24,000	25,58
D2 (0.083)	27,117	15,92	25,400	21,2
D3 (0.17)	28,533	11,52	26,067	19,2

Fuente: Luna, 2016

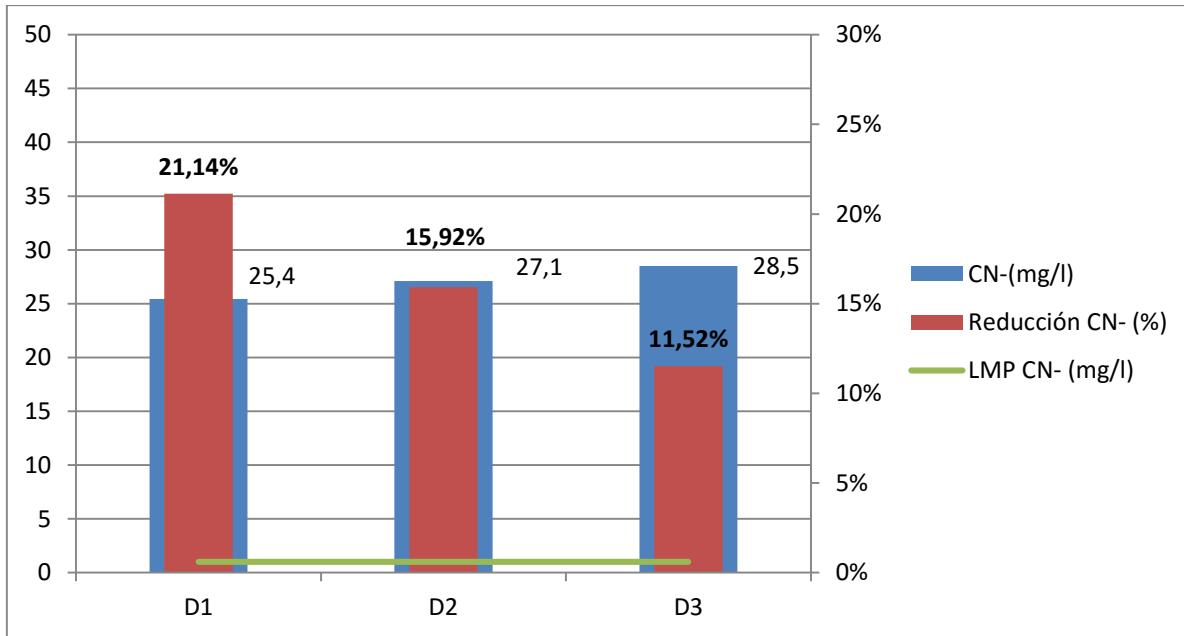


Figura 75: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a un t=30 min, con D1, D2 y D3

Autor: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

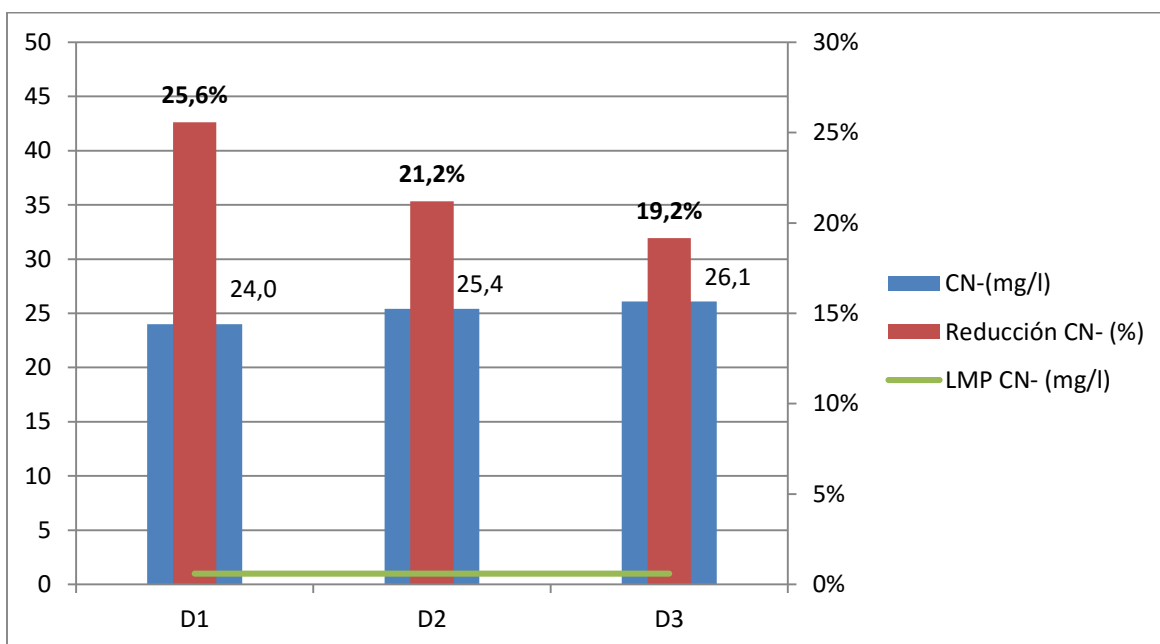


Figura 76: Gráfico comparativo del % de Reducción de cianuros totales después del tratamiento del agua residual con NaClO (10%) a un t=60 min, con D1, D2 y D3

Autor: Luna, 2016

En las Figuras 75 y 76 se observa que el tratamiento con hipoclorito de sodio al 10% resultó poco eficiente, obteniendo bajos % de reducción que oscilan entre 11 y 25 % de cianuros totales, tanto a 30min como a 60 min.

4.3 RESULTADOS DE CLARIFICACIÓN DEL AGUA TRATADA MEDIANTE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

A continuación en la Tabla 18 se presentan los resultados de color y turbidez medidos de la muestra sin clarificación y de la muestra seleccionada que presentó la mejor clarificación y sedimentación de los ensayos realizados.

Tabla 19: Resultados de Color y Turbidez según [Anexo B-5](#)

Muestra	Color (Units PtCo)	Turbidez (FNU)
Agua tratada con H ₂ O ₂ (30%) + CuSO ₄ .5H ₂ O	429	453
Agua clarificada con 200 ppm PAC + 2 ppm Polímero Aniónico)	34	12.62

Fuente: Luna, 2016

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

4.4 APLICACIÓN ESTADÍSTICA DE ANOVA

Considerando que para el desarrollo de los experimentos para la oxidación química de cianuros se utilizó más de dos variables y con el fin de aplicar un tratamiento estadístico para verificar la confiabilidad de los datos, se utilizó el programa estadístico PAST 3.12, a continuación los resultados según [Anexo C-1](#):

Tabla 20: Resultados de ANOVA de Cianuros Totales del tratamiento del agua residual con H_2O_2 (30%)

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	18138,1	2	9069,03	87,13	4,16E-14
Dentro de los grupos:	4358,33	51	85,4574		
Error:	3538,77	34	104,081		
Entre sujetos:	819,559	17	48,2093		
Total:	22496,4	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

Tabla 21: Resultados de ANOVA de Conductividad del tratamiento del agua residual con H_2O_2 (30%)

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	18823,5	2	9411,73	118,4	4,80E-16
Dentro de los grupos:	4050,82	51	79,4278		
Error:	2702,97	34	79,499		
Entre sujetos:	1347,85	17	79,2855		
Total:	22874,3	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

Tabla 22: Resultados de ANOVA de Oxígeno Disuelto del tratamiento del agua residual con H_2O_2 (30%)

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	20557,1	2	10278,6	128,5	1,42E-16
Dentro de los grupos:	4063,41	51	79,6746		
Error:	2720,43	34	80,0127		
Entre sujetos:	1342,97	17	78,9985		
Total:	24620,5	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Tabla 23: Resultados de ANOVA de pH del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%)

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	19634,2	2	9817,09	123,1	2,69E-16
Dentro de los grupos:	4050,2	51	79,4157		
Error:	2711,85	34	79,7604		
Entre sujetos:	1338,34	17	78,7261		
Total:	23684,4	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

Según [Anexo C-2](#):

Tabla 24: Resultados de ANOVA de Cianuros Totales del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	20014,8	2	10007,4	98,11	7,56E-15
Dentro de los grupos:	4327,13	51	84,8457		
Error:	3467,88	34	101,997		
Entre sujetos:	859,245	17	50,5438		
Total:	24341,9	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

Tabla 25: Resultados de ANOVA de Conductividad del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	18787,2	2	9393,6	119,1	4,40E-16
Dentro de los grupos:	4050,81	51	79,4276		
Error:	2682,14	34	78,8864		
Entre sujetos:	1368,67	17	80,51		
Total:	22838	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Tabla 26: Resultados de ANOVA de Oxígeno Disuelto del tratamiento del agua residual con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	19351,7	2	9675,86	128	1,49E-16
Dentro de los grupos:	4146,1	51	81,296		
Error:	2569,87	34	75,5843		
Entre sujetos:	1576,23	17	92,7195		
Total:	23497,8	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

Tabla 27: Resultados de ANOVA de pH del tratamiento del agua residual con H_2O_2 (30%) + $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	19637,8	2	9818,88	123	2,71E-16
Dentro de los grupos:	4050,24	51	79,4164		
Error:	2713,67	34	79,8137		
Entre sujetos:	1336,57	17	78,6219		
Total:	23688	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

Según [Anexo C-3:](#)

Tabla 28: Resultados de ANOVA de Cianuros Totales del tratamiento del agua residual con $NaClO$ (10%)

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	18289,8	2	9144,9	107	2,13E-15
Dentro de los grupos:	4105,39	51	80,4979		
Error:	2904,89	34	85,438		
Entre sujetos:	1200,5	17	70,6176		
Total:	22395,2	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Tabla 29: Resultados de ANOVA de Conductividad del tratamiento del agua residual con NaClO (10%)

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	18835,8	2	9417,89	121	3,45E-16
Dentro de los grupos:	4066,19	51	79,7291		
Error:	2645,54	34	77,8099		
Entre sujetos:	1420,65	17	83,5676		
Total:	22902	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

Tabla 30: Resultados de ANOVA de Oxígeno Disuelto del tratamiento del agua residual con NaClO (10%)

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	21220,9	2	10610,5	134,2	7,37E-17
Dentro de los grupos:	4056,32	51	79,5357		
Error:	2688,99	34	79,0879		
Entre sujetos:	1367,33	17	80,4314		
Total:	25277,2	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

Tabla 31: Resultados de ANOVA de pH del tratamiento del agua residual con NaClO (10%)

	Suma de cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	F	p
Entre grupos:	19651,2	2	9825,62	123,5	2,56E-16
Dentro de los grupos:	4050,19	51	79,4155		
Error:	2705,75	34	79,5809		
Entre sujetos:	1344,44	17	79,0847		
Total:	23701,4	53			

Fuente: Obtenida del Programa Past 3.12

De los resultados de las Tabla 19 a la Tabla 30 se observa que para todos los parámetros medidos en el tratamiento químico de agua residual con los tres agentes oxidantes los datos tomados en las 3 repeticiones por ensayo son confiables ya que tienen un $p < 0.05$. Con los resultados de F, siendo que los mismos se alejan de 1 se rechaza la hipótesis nula.

4.5 TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL PARA LA EMPRESA ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. Y PRE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

4.5.1 Selección del tratamiento de oxidación química de cianuros adecuado para el agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.

Considerando las variables de eficiencia del método de oxidación química, tiempo de reacción y consumo de químicos, se determinó que el método idóneo para la empresa es el de H_2O_2 (30%) + $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ con la dosificación (0.058ml + 0.07g) respectivamente en un tiempo de 60 min, ya que la cantidad dosificada de químicos es pequeña y similar a la de los otros agentes oxidantes, así como también se considera que es un tiempo adecuado para realizar el tratamiento sin afectar a la productividad de la empresa y principalmente por la reducción eficaz de cianuros con respecto a los otros agentes oxidantes.

4.5.2 Evaluación del costo del tratamiento de agua residual para la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A, en base al método de oxidación química seleccionado y el método de clarificación.

Para ello se considera la capacidad del tanque de lavado y la capacidad operativa, siendo esta última equivalente al volumen del agua que se tratará en la planta de tratamiento del agua residual:

- Capacidad del tanque de lavado equivalente a $2,27 \text{ m}^3$
- Capacidad operativa del tanque de lavado equivalente a $2,00 \text{ m}^3$

Además se toma como referencia los costos de los químicos a dosificar, para lo cual se realizó una tabla comparativa con diferentes proveedores, tal como se muestra a continuación:

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Tabla 32: Comparativo de costos de reactivos

Reactivos	H₂O₂ (30%)	CuSO₄.5H₂O	PAC	Polímero Aniónico	HCl	Agua Destilada
Precio	\$ L	\$ Kg	\$ Kg	\$ Kg	\$Kg	galón
Proveedor 1	10.20	4.25	1.00	10.00	0.76	3.00
Proveedor 2	10.50	5.00	1.12	-----	0.80	3.10
Proveedor 3	11.30	5.50	-----	-----	0.85	3.15

Fuente: Luna, 2016

Se selecciona el proveedor 1 para la compra de reactivos dado a sus bajos precios comparado con los otros proveedores.

Evaluación de costos de Tratamiento de agua mediante oxidación química

Considerando que el volumen a tratar de agua residual mensualmente es de 1,82 a 2,00 m³, se tomó este intervalo dado a pérdidas de agua durante el proceso al momento de sacar las piezas mojadas a secar. A continuación el cálculo del costo de reactivos utilizados para la oxidación química en base a las dosificaciones 0.058ml H₂O₂ (30%) + 0.07g CuSO₄.5H₂O en 500 ml de agua residual contaminada con 32.250 mg/l de CN-:

$$1.82m^3 \times \frac{1000l}{1m^3} = 1820l \text{ Agua residual}$$

Con base a los cálculos del literal 3.1.5 apartado dosificación de agente oxidante para los 1820 L de agua residual se tiene las siguientes dosificaciones:

$$\text{Dosificación H}_2\text{O}_2 \text{ (30\%)} = 211.51 \text{ ml}$$

$$\text{Dosificación CuSO}_4.5\text{H}_2\text{O} = 255.27 \text{ g}$$

Transformando a las unidades dadas por el proveedor para evaluar el costo de se tiene:

$$\text{Dosificación H}_2\text{O}_2 \text{ (30\%)} = 0.211 \text{ L}$$

$$\text{Dosificación CuSO}_4.5\text{H}_2\text{O} = 0.255 \text{ Kg}$$

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

A continuación en la Tabla 32 se tiene el costo del tratamiento mensual aproximado por oxidación química:

Tabla 33: Costo dosificaciones de reactivos para oxidación química

Reactivos	UND	\$ + IVA	\$ Tratamiento + IVA
H ₂ O ₂ (30%)	0.211 (L)	10.20	2.15
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.255(Kg)	4.25	1.08
Total			3.23

Fuente: Luna, 2016

Costo de reactivos utilizados para clarificación del agua

Considerando que el volumen a clarificar mensualmente es de 1,82 a 2,00 m³, a continuación el cálculo del costo de reactivos utilizado para la clarificación del agua en base a las dosificaciones de químicos PAC al 1% (200 ppm) y polímero aniónico al 0.1% (2 ppm) en 250 ml se tiene:

$$1.82m^3 \times \frac{1000l}{1m^3} \times \frac{1000ml}{1l} = 1820000ml \text{ Agua tratada}$$

Aplicando la siguiente fórmula:

$$ml = \frac{ppm * V(ml)}{\left(\frac{1}{100}\right) * 1000000}$$

Ec: 18.0

$$ml = \frac{200 ppm * 1820000 ml}{\left(\frac{1}{100}\right) * 1000000} = 36400ml \text{ PAC}$$

Por tanto para preparar el PAC al 1% se requiere de 36400 ml de agua destilada y 364g de PAC.

El mismo cálculo se aplica para los 2 ppm de polímero aniónico, por tanto para preparar la solución al 0.1% se requiere de 364 ml de agua destilada y 0.364 g de polímero.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Transformando a las unidades dadas por el proveedor se tiene:

$$\text{PAC} = 0.364 \text{ Kg}$$

$$\text{Polimero Aniónico} = 0.000364 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua Destilada} = 10 \text{ gal}$$

A continuación en la Tabla 33 se tiene el costo mensual aproximado de la clarificación del agua:

Tabla 34: Costo dosificaciones de reactivos para clarificación del agua

Reactivos	UND	\$ + IVA	\$ Tratamiento + IVA
PAC	0.364 (Kg)	1.00	0.36
Polímero Aniónico	0.000364 (Kg)	10.00	0.0036
Agua destilada	10 gal (Kg)	3.00	30.00
Total			30.36

Fuente: Luna, 2016

4.5.3 Pre diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales

Con el fin de realizar en la empresa ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. el tratamiento químico de agua residual se requiere de una planta para aplicar el mismo, considerando los procesos de oxidación química y clarificación del agua, y con el enfoque de recirculación del agua tratada como alimentación al tanque de lavado de piezas tratadas bajo procesos térmicos y termoquímicos, a continuación se presenta en la Figura 77 el pre diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de forma general quedando a consideración de la empresa la implementación.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

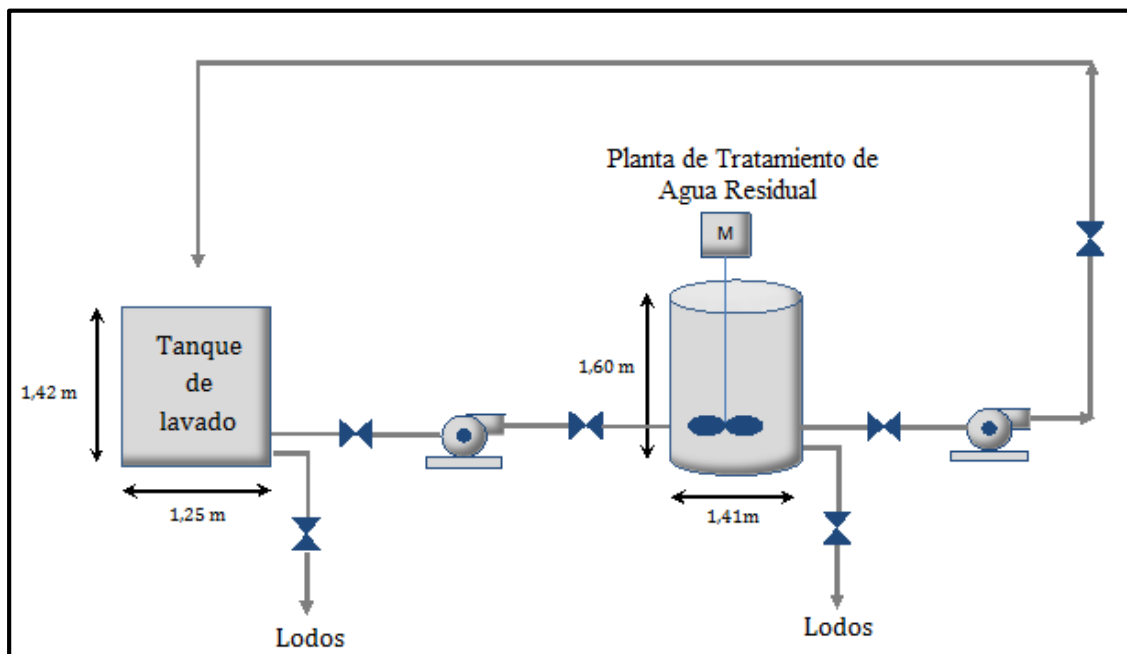


Figura 77: Pre diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Residual proveniente del tanque de lavado de la Empresa Aceros Bohler de Ecuador S.A

Fuente: Luna, 2016

Capacidad de la planta de Tratamiento de Agua

La capacidad de la planta de tratamiento será de 2.50 m^3 , considerando que el volumen operativo de la planta es del 80% se tiene que en el mismo se tratará mensualmente 2m^3 de agua residual, para lo que ocupará un espacio moderado en el área de Tratamientos Térmicos.

Selección del material de la planta

Se seleccionó la forma cilíndrica del recipiente para que exista mayor homogeneidad en el momento de realizar la agitación y la fabricación en material de PVC, por su fácil construcción, por el volumen pequeño a tratar, porque el agua no presenta propiedades ácidas, por bajos costos con respecto a otros materiales como el acrílico, acero comercial o acero inoxidable y en especial por la resistencia a la corrosión.

Accesorios

A continuación en la Tabla 34 se detalla los accesorios utilizados para la construcción de la planta de tratamiento de agua residual con los respectivos costos:

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Tabla 35: Accesorios para construcción de la planta de Tratamiento de Agua Residual

Cantidad	Accesorios	\$ + IVA
1	Tanque cilíndrico de PVC 2.50 m ³	450
1,50m	Tubería flexible ½ pulgada	1.75
2 m	Tubería plástica de ½ pulgada	4.02
2	Bombas centrífugas ¼ HP	105.24
6	Válvulas de bola	25.92
1	Motor de velocidad variable ¼ HP	88.84
1	Agitador paletas planas	180
Total		630

Fuente: Luna, 2016

- Costo Aproximado del Tratamiento del agua residual:

A continuación se presenta en la Tabla 35 el costo aproximado de todo el tratamiento del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.

Tabla 36: Costo aproximado del Tratamiento del Agua Residual para la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.

Actividades para el Tratamiento del Agua Residual	\$ + IVA
Análisis de Cianuros del agua residual en laboratorio externo	13.00
Tratamiento de agua residual por oxidación química con H ₂ O ₂ (30%) + CuSO ₄ .5H ₂ O	3.23
Análisis de Cianuros del agua tratada químicamente en laboratorio externo	13.00
Análisis de color y turbidez en laboratorio externo	14.50
Clarificación del agua	30.36
Reactivos adicionales para preparar soluciones y regular el pH	2.00
Análisis de color y turbidez en laboratorio externo	14.50
Total (mensual)	90.59
Planta de tratamiento de agua residual	630.00
Costo total del tratamiento al primer mes	720.59

Fuente: Luna, 2016

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se logró disminuir la presencia de cianuros del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A, reduciendo la carga contaminante con respecto a la inicial mediante la oxidación química de cianuros a cianatos, siendo importante la aplicación del tratamiento para disminuir los impactos ambientales generados por el agua y por los impactos a la salud de los trabajadores por el alto grado tóxico de los cianuros.

- ✓ De los tres experimentos realizados con los diferentes agentes oxidantes se obtuvo para la oxidación de cianuros con peróxido de hidrógeno al 30% una reducción del 45.84% con la dosificación 1 (0.058ml), con el uso de peróxido de hidrógeno al 30% con adición del catalizador sulfato de cobre pentahidratado se obtuvo un 82.76% de reducción de cianuros con la dosificación 1 (0.058ml + 0.07g) respectivamente y con el hipoclorito de sodio al 10% se obtuvo el 25.6% de reducción con la dosificación 1 (0.064ml), lo que demuestra que para las características del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A no resulta eficiente la aplicación de hipoclorito de sodio a pesar de tener propiedades altamente oxidantes.

- ✓ Mediante el porcentaje de reducción de cianuros se concluye que el método más eficiente para la oxidación química de los mismos es el realizado con peróxido de hidrógeno al 30% con adición del catalizador sulfato de cobre pentahidratado, con la dosificación 1; en un tiempo de reacción de 60 min, a una temperatura de 24°C y 700 rpm de agitación, ya que disminuyó de 32.250 mg/l de CN⁻ presentes en el agua residual a 5.600 mg/l en el agua tratada, y dado a que la empresa no descargará el agua al alcantarillado se estima que es un valor adecuado para la recirculación al proceso de lavado, siendo este el método recomendado para el tratamiento de aguas residuales de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

- ✓ Se concluye que la variable de tiempo de reacción influye para que exista mayor eficiencia en la reducción de cianuros, siendo que a mayor tiempo existe mayor oxidación de cianuros, así como también es importante controlar la agitación de la muestra ya que permite un tratamiento homogéneo. Con respecto al pH del agua residual el mismo osciló entre 11 y 12, indicando la basicidad del agua y siendo un factor que atenuó el control con respecto a la formación de gas cianhídrico con un pH inferior a 11.5.
- ✓ De las tres dosificaciones aplicadas con los tres agentes oxidantes al agua residual se concluye que en valores mayores a 6g del agente que oxida 1 g de CN⁻ la oxidación química no resulta eficiente, ya que no existe una degradación de cianuros tal como la obtenida con 4g.
- ✓ Los parámetros medidos de conductividad y oxígeno disuelto en los tres experimentos ayudaron a evaluar el nivel de contaminación del agua posterior a los tratamientos aplicados con respecto a los parámetros medidos en el agua residual.
- ✓ Del proceso de clarificación del agua tratada se obtuvo que con el uso del coagulante Sulfato de Aluminio al 1% se clarifica el agua pero no mostró una lucidez como con el uso de Policloruro de Aluminio al 1%, así como también con este último se obtuvo sólidos sedimentados más compactos, siendo las concentraciones óptimas de 200 ppm de PAC y 2 ppm de Polímero aniónico para la clarificación del agua, ya que se obtuvo un 97.19% de reducción de turbidez y un 92% de reducción del color con respecto al agua sin clarificar.
- ✓ De la evaluación del costo para el tratamiento del agua residual de la empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A., lo cual incluye: oxidación química para degradación de cianuros, clarificación del agua y planta de tratamiento del agua residual es de aproximadamente 720.59\$ + IVA, sin considerar la mano de obra para la construcción de la planta. Posterior a la instalación de la misma, el tratamiento estará evaluado de 90 a 100 dólares mensuales + IVA, esto dependerá del grado de contaminación por cianuros presentes en el agua residual en función de la producción mensual, influyendo esto a la dosificación de los químicos.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Continuar evaluando agentes oxidantes con mayores concentraciones de las seleccionadas en el presente proyecto para verificar la influencia en la degradación de cianuros del agua residual.
- ✓ Evaluar dosificaciones diferentes a las aplicadas del H_2O_2 y $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ para verificar la influencia en la degradación de cianuros, considerando que se desea alcanzar una concentración de cianuros menor a 5 mg/l, por lo que se debe evaluar cantidades inferiores a 6g del agente oxidantes para que oxide 1 g de cianuro, ya que superiores a esta la reducción de cianuros no es eficiente.
- ✓ Se recomienda utilizar otros agentes oxidantes considerando costos y su capacidad como oxidantes.
- ✓ Se recomienda incrementar el tiempo de reacción (mayor a 60 minutos) para verificar la influencia en la degradación de cianuros con los diferentes agentes oxidantes.
- ✓ Continuar evaluando concentraciones menores a 200 ppm de coagulantes (Policloruro de Aluminio y Sulfato de Aluminio) para seleccionar la concentración óptima para clarificación del agua.
- ✓ Se recomienda a la empresa ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A la implementación del tratamiento de aguas residuales planteado en este proyecto para beneficio de la empresa, así como para cumplimiento de leyes ambientales y de seguridad.

CAPÍTULO VI

6. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Arevalo, C. (2011). *Control de Efluentes Cianurados mediante la Oxidación con Peróxido de Hidrógeno en un laboratorio de análisis de minerales*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- ✓ Beyer, & Walter. (1987). *Manual de Química Orgánica*. Alemania: Reverté S.A.
- ✓ Bohler. (02 de 09 de 2015). Procedimiento para Tratamientos Térmicos y Termoquímicos. Quito, Ecuador.
- ✓ *Decreto Ejecutivo No. 2393*. (1998). Quito-Ecuador.
- ✓ Díaz, F. (2007). *Lecturas de Ingeniería I Endurecimiento Superficial del Acero*. Perú.
- ✓ *Ley de Aguas*. (2004). Quito-Ecuador.
- ✓ *Ley de Gestión Ambiental*. (2004). Quito-Ecuador.
- ✓ *Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental*. (2004). Quito-Ecuador.
- ✓ *Constitución de la República del Ecuador*. (2008). Quito-Ecuador.
- ✓ *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. (2014). Quito-Ecuador.
- ✓ *Acuerdo Ministerial No. 061* (2015). Quito-Ecuador.
- ✓ *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua*. (2014). Quito-Ecuador.
- ✓ EcuRed. (2016). *Aguas Residuales*. México.(25-05-2016). Obtenido de http://www.ecured.cu/Aguas_residuales
- ✓ Estefani, G. (2013). Cianuro de Sodio. *Artinaid*, 1.
- ✓ Estefani, G. (2013). Descomposición y Reciclado del Cianuro. *Artinaid*, 1.
- ✓ Gaviria, A. C. (2006). *Análisis de alternativas para la degradación del cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, Municipio de Marmato, Caldas*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

- ✓ Gómez, P. (2012). *Degradación de Cianuros mediante Oxidación Química en Efluentes Industriales*. España: Universidad de Oviedo.
- ✓ Goyonola, G. (2007). *Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos*. Madrid-España.
- ✓ Goyonola, G. (20 de 07 de 2015). *Transparencia, color y turbidez*. RED MAPSA. Madrid-España..
- ✓ *Guía Ambiental para el Manejo del Cianuro*. (2005). Lima: Ministerio de Energía y Minas Gobierno del Perú.
- ✓ Kitis, M., & Akcil, A. (2004). *Destruction of cyanide by hydrogen peroxide in tailings slurries from low bearing sulphidic gold ores*. Turkey: Department of Environmental Engineering, Suleyman Demirel University.
- ✓ Knorre, H., & Degussa, A. (1990). *Cyanide Detoxification with Hydrogen Peroxide using the Degussa Process*. Germany.
- ✓ Méndez, A. (2010). *Concepto de la Oxidación*. La Guía.(26-05-2016). Obtenido de <http://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/concepto-de-oxidacion>
- ✓ ON. (2012). *Definiciones y Siglas para el Código Internacional para el Manejo de Cianuro*. Instituto Internacional para el Manejo de Cianuro.
- ✓ Ortega, D. (2015). *Estudio de la Degradación del Cianuro utilizando Peróxido de Hidrógeno en los efluentes del proceso de Cianuración de la Empresa Menesadco S.A. ubicada en el sitio el Pache, Cantón Potovelo, Provincia de El Oro, 2014*. Machala: Universidad Técnica de Machala.
- ✓ Pulla, E. P. (2007). *Calidad de Agua Trabajo de Investigación Oxígeno Disuelto*. Guayaquil-Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- ✓ Rodríguez, A. (2006). *Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales*. Madrid: Universidad Rey Juan Carlos.
- ✓ Román, C. &., & Parra, A. (2011). *Reducción de la concentración de cianuro con tratamiento de peróxido de hidrógeno en las aguas residuales de la industria del Galvanizado*. Cuenca: Universidad Politécnica Salsiana Sede Cuenca.
- ✓ Teijon, J., & García, J. (2006). *La Química en Problemas*. Madrid: Tebar.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

- ✓ Vargas, X., & Cuesta, D. (2011). *Efecto de las variables de oxidación de cianuro con luz ultravioleta usando TiO₂ como cataizador*. Bogotá: Universidad Manuela Beltrán.
- ✓ Vázquez, D. d. (2000). *Diccionario de Ciencias*. España: Complutense.
- ✓ Vilardel, E. N. (2014). *Secretos de la Cloración Salina. Funcionamiento, instalación y mantenimiento*.
- ✓ Walter, J., & Weber, J. (2003). *Control de la Calidad del Agua Procesos Fisicoquímicos*. Barcelona: Reverte S.A.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

ANEXOS

Anexo A: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

*ANEXO 1 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE:
NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA*

5.2.3.6 Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en la **TABLA 9**, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

TABLA 9. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables.	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁶⁺	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables		ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220,0
Sólidos totales		mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua (2014)

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Anexo B: Reportes de Laboratorios Externos

Anexo B-1: Resultados de Cianuros Totales del Agua Residual de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS**

**LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS**

INF-LAB-QAM- 41334

ORDEN DE TRABAJO No 52516-52530-52560-52603-52618-52695

SOLICITADO	ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A
DIRECCIÓN:	DE LAS AVELLANAS E1-112 PARQUE DE LOS RECUERDOS
FECHA DE RECEPCIÓN:	15/04/2016 19/04/2016 21/04/2016 26/04/2016 28/04/2016 05/05/2016
HORA DE RECEPCIÓN:	11h56
MUESTRA DE:	AGUA RESIDUAL
DESCRIPCIÓN:	SEGUN DESCRIPCION
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 15/04/2016 AL 22/04/2016 DEL 19/04/2016 AL 22/04/2016 DEL 21/04/2016 AL 25/04/2016 DEL 26/04/2016 AL 02/05/2016 DEL 28/04/2016 AL 03/05/2016 DEL 05/05/2016 AL 13/05/2016
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA	LA 30/06/16
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	SEGUN CARACTERISTICAS
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	2 LITROS
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregado al OSP .

INFORME

CÓDIGOS	CARACTERÍSTICA	UNIDADES	CIANUROS
Muestra 1 15/04/2016 10h30	POCO TURBIA	mg/l	2,150
Muestra 2 19/04/2016 15h00	POCO TURBIA	mg/l	4,750
Muestra 3 21/04/2016 10h30	POCO TURBIA	mg/l	6,600
Muestra 4 26/04/2016 15h00	TURBIA	mg/l	10,250
Muestra 5 28/04/2016 10h00	TURBIA	mg/l	15,450
Muestra 6 05/05/2016 15h00	TURBIA	mg/l	32,250
MÉTODO	MAM-48/APHA 4500 CN-B MODIFICADO Y COLORIMÉTRICO MERCK		



Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los resultados reportados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"



Alicia Cepa
B.F. ALICIA CEPÁ
JEFE AREA DE AMBIENTAL



1 / 11

RAM-4.1-041

97

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Anexo B-2: Resultados de Cianuros Totales (ensayos del E1 al E6 por agente oxidante) después del tratamiento del Agua Residual de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS**

**LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS**

**INF-LAB-QAM- 41335
ORDEN DE TRABAJO No 52802**

SOLICITADO:	ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A
DIRECCIÓN:	DE LAS AVELLANAS E1-112 PARQUE DE LOS RECUERDOS
FECHA DE RECEPCIÓN:	17/05/16
HORA DE RECEPCIÓN:	10H12
MUESTRA DE:	AGUA RESIDUAL
DESCRIPCIÓN:	SEGUN DESCRIPCION
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 17/05/2016 AL 30/05/2016
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA:	LA 30/06/16
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA:	SEGUN CARACTERISTICAS
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	2 LITROS
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregado al OSP .

INFORME

CODIGOS	TIEMPO	CARACTERÍSTICA	UNIDADES	CIANUROS
E1-H2O2	30 min	TURBIA	mg/l	22,500
E2-H2O2	30 min	TURBIA	mg/l	27,000
E3-H2O2	30 min	TURBIA	mg/l	27,500
E4-H2O2	60 min	TURBIA	mg/l	14,700
E5-H2O2	60 min	TURBIA	mg/l	18,600
E6-H2O2	60 min	TURBIA	mg/l	19,100
E1- H2O2-C	30 min	TURBIA	mg/l	8,250
E2- H2O2-C	30 min	TURBIA	mg/l	9,100
E3- H2O2-C	30 min	TURBIA	mg/l	12,250
E4- H2O2-C	60 min	TURBIA	mg/l	6,825
E5- H2O2-C	60 min	TURBIA	mg/l	4,450
E6- H2O2-C	60 min	TURBIA	mg/l	5,400
E1-NaClO	30 min	TURBIA	mg/l	25,500
E2-NaClO	30 min	TURBIA	mg/l	24,500
E3-NaClO	30 min	TURBIA	mg/l	26,300
E4-NaClO	60 min	TURBIA	mg/l	25,100
E5-NaClO	60 min	TURBIA	mg/l	22,800
E6-NaClO	60 min	TURBIA	mg/l	24,100
MÉTODO				MAM-48/APHA 4500 CN-B MODIFICADO Y COLORIMÉTRICO MERK



Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos mandados a analizar NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

**B.F. ALICIA CEPA
JEFE AREA DE AMBIENTAL**



**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Anexo B-3: Resultados de Cianuros Totales (ensayos del E7 al E12 por agente oxidante) después del tratamiento del Agua Residual de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A.



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS**

**LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS**

INF-LAB-QAM-41336

ORDEN DE TRABAJO N° 52908

SOLICITADO	ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.
DIRECCIÓN:	DE LAS AVELLANAS E1-112 PARQUE DE LOS RECUERDOS
FECHA DE RECPCIÓN:	02/06/2016
HORA DE RECEPCIÓN:	9H30
MUESTRA DE:	AGUA TRATADA
DESCRIPCIÓN:	SEGÚN DESCRIPCIÓN
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 02-06-2016 AL 14-06-2016
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	14/06/2016
CARACTERISITICAS DE LA MUESTRA:	SEGÚN CARACTERISITICAS
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	2 LITROS
MUESTREADO POR	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refiere a la muestra tomada por el cliente y entregado al OSP

INFORME

CÓDIGOS	CARACTERÍSTICA	UNIDADES	CIANUROS	
E7-H2O2	30 min	TURBIA	mg/l	27,600
E8-H2O2	30 min	TURBIA	mg/l	29,255
E9-H2O2	30 min	TURBIA	mg/l	26,300
E10-H2O2	60 min	TURBIA	mg/l	21,750
E11-H2O2	60 min	TURBIA	mg/l	20,180
E12-H2O2	60 min	TURBIA	mg/l	21,000
E7- H2O2-C	30 min	TURBIA	mg/l	14,200
E8- H2O2-C	30 min	TURBIA	mg/l	15,600
E9- H2O2-C	30 min	TURBIA	mg/l	14,500
E10- H2O2-C	60 min	TURBIA	mg/l	6,800
E11- H2O2-C	60 min	TURBIA	mg/l	6,600
E12- H2O2-C	60 min	TURBIA	mg/l	7,200
E7-NaClO	30 min	TURBIA	mg/l	26,850
E8-NaClO	30 min	TURBIA	mg/l	28,700
E9-NaClO	30 min	TURBIA	mg/l	25,800
E10-NaClO	60 min	TURBIA	mg/l	24,600
E11-NaClO	60 min	TURBIA	mg/l	26,701
E12-NaClO	60 min	TURBIA	mg/l	24,900
MÉTODO				MAM-48/APHA 4500 CN-B MODIFICADO Y COLORIMÉTRICO MERK



Resolución N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos mencionados NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

B.F. Alicia Cepa
B.F. ALICIA CEPA
JEFE AREA DE AMBIENTAL



1 2/2

RAM-4.1-041

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Anexo B-4: Resultados de Cianuros Totales (ensayos del E13 al E18 por agente oxidante después del tratamiento del Agua Residual de la Empresa Aceros Bohler del Ecuador S.A



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE QUÍMICA AMBIENTAL
INFORME DE RESULTADOS

INF-LAB-QAM-41336

ORDEN DE TRABAJO N° 53075

SOLICITADO	ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.
DIRECCIÓN:	DE LAS AVELLANAS E1-112 PARQUE DE LOS RECUERDOS
FECHA DE RECEPCIÓN:	15/06/2016
HORA DE RECEPCIÓN:	12H24
MUESTRA DE:	AGUA TRATADA
DESCRIPCIÓN:	SEGÚN DESCRIPCIÓN
FECHA DE ANÁLISIS:	DEL 15-06-2016 AL 23-06-2016
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	30/06/2016
CARACTERISITICAS DE LA MUESTRA:	SEGÚN CARACTERISITICAS
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	2 LITROS
MUESTREADO POR	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refiere a la muestra tomada por el cliente y entregado al OSP

INFORME

CODIGOS	CARACTERÍSTICA	UNIDADES	CIANUROS
E13-H2O2	30 min TURBIA	mg/l	26,600
E14-H2O2	30 min TURBIA	mg/l	29,800
E15-H2O2	30 min TURBIA	mg/l	28,000
E16-H2O2	60 min TURBIA	mg/l	20,400
E17-H2O2	60 min TURBIA	mg/l	22,600
E18-H2O2	60 min TURBIA	mg/l	22,800
E13- H2O2-C	30 min TURBIA	mg/l	15,800
E14- H2O2-C	30 min TURBIA	mg/l	16,800
E15- H2O2-C	30 min TURBIA	mg/l	12,800
E16- H2O2-C	60 min TURBIA	mg/l	9,800
E17- H2O2-C	60 min TURBIA	mg/l	6,600
E18- H2O2-C	60 min TURBIA	mg/l	7,200
E13-NaClO	30 min TURBIA	mg/l	28,600
E14-NaClO	30 min TURBIA	mg/l	27,400
E15-NaClO	30 min TURBIA	mg/l	29,600
E16-NaClO	60 min TURBIA	mg/l	25,900
E17-NaClO	60 min TURBIA	mg/l	24,600
E18-NaClO	60 min TURBIA	mg/l	27,700
MÉTODO			MAM-48/APHA 4500 CN-B MODIFICADO Y COLORIMÉTRICO MERK



Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos mencionados en el presente informe NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"

B.F. ALICIA CEPA
JEFE AREA DE AMBIENTAL



1 2/2

RAM-4.1-041

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA
PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS
BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Anexo B-5: Resultados de Color y Turbidez del agua tratada y clarificada de la Empresa Aceros Boehler del Ecuador S.A.

INFORME DE ENSAYOS
IE-1606-019



Cliente:	Dirección:	Teléfono:	Fax:	Fecha de Recepción:
ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.	Quito - Ecuador	(+593 2) 2807936 Ext.	(+593 2) 2477918	29/06/2016
Persona de contacto:	E-mail:	Oferta:	Número de muestras:	
Ing. Yadira Luna	yadira.luna@bohlerecuador.com	OIL-1606-05	Una (1)	
Tipo de muestra	Emisión de Certificado de Análisis Fecha	Fecha de análisis:		Responsable de Análisis:
		Inicio	Culminación	
Agua de descarga	01/07/2016	29/06/2016	01/07/2016	Andrés Viteri
Fecha de muestreo:				NR
Método de muestreo:				NR
Lugar de muestreo:				NR
Muestreado por:				NR
Código UMWELT:				1606-AD-019
Código Cliente	Parámetro, Método	Unidad	Muestra	
Muestra H ₂ O ₂ -C	Turbidez, Turbidímetro	FNU	453	
	Color, Metodo HACH 8025	Units PtCo	429	
Muestra H ₂ O ₂ -C Calificada (200ppm PAC + 2ppm Polímero Aniónico)	Turbidez, Turbidímetro	FNU	12,62	
	Color, Metodo HACH 8025	Units PtCo	34,0	

NOTAS DE INTERÉS:

Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
Se separa un resultado de mil con un punto (.) Se separa un resultado de decimal con coma (,)
NR = No Reporta NA = No Aplica

Toda la información referente a los ensayos del presente informe está a disposición del cliente.
El presente ensayo NO se encuentran acreditado con el SAE, bajo la norma NTE INEN ISO-IEC 17025: 2006

UMWELT Cia. Ltda
Urb. Marisol Calle 11 y 12
Lote 126 - Ponciano Bajo

Ing. Andrés Viteri
Gerente Técnico

El presente Informe de Ensayos sólo afecta a los objetos sometidos a ensayo, el mismo que no deberá reproducirse parcial o totalmente sin la aprobación por escrito de Umwelt. Los resultados obtenidos son de uso exclusivo del cliente.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.

Anexo 3: Parámetros Físico-químicos después del tratamiento del agua residual

Anexo C-1: Parámetros Físico-químicos después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) a T= 24°C, rpm= 700, pH_i= 11.5

Dosificaciones (ml)	# Muestras	Tiempo de reacción(min)	Conductividad (ms/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	pH _f	CN- (mg/l)
D1 (0.058)	E1-H ₂ O ₂	30	15,00	7,00	11,40	22,500
	E2-H ₂ O ₂		15,19	6,86	11,42	27,000
	E3-H ₂ O ₂		14,99	7,81	11,44	27,500
	E4-H ₂ O ₂	60	15,04	7,32	11,33	14,700
	E5-H ₂ O ₂		15,02	6,86	11,31	18,600
	E6-H ₂ O ₂		14,69	8,23	11,34	19,100
D2 (0.087)	E7-H ₂ O ₂	30	14,90	8,98	11,39	27,600
	E8-H ₂ O ₂		15,03	8,76	11,42	29,255
	E9-H ₂ O ₂		15,09	9,31	11,4	26,300
	E10-H ₂ O ₂	60	15,12	9,28	11,29	21,750
	E11-H ₂ O ₂		15,04	9,48	11,27	20,180
	E12-H ₂ O ₂		15,20	9,01	11,31	21,000
D3 (0.23)	E13-H ₂ O ₂	30	14,45	8,72	11,40	26,600
	E14-H ₂ O ₂		15,00	8,65	11,42	29,800
	E15-H ₂ O ₂		14,81	9,40	11,39	28,000
	E16-H ₂ O ₂	60	14,76	8,12	11,23	20,400
	E17-H ₂ O ₂		14,64	7,94	11,21	22,600
	E18-H ₂ O ₂		14,72	8,08	11,22	22,800

Fuente: Luna, 2016

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA PRESENCIA DE CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.

Anexo C-2: Parámetros Físico-químicos después del tratamiento del agua residual con H₂O₂ (30%) + CuSO₄.5H₂O a T= 24°C, rpm= 700, pH= 11.5 (Fuente: Luna, 2016)

Dosificaciones (ml + g)	# Muestras	Tiempo de reacción(min)	Conductividad (ms/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	pH	CN- (mg/l)
D1 (0.058+0.07)	E1- H₂O₂-C	30	15,22	11,08	11,40	8,250
	E2- H₂O₂-C		14,66	9,38	11,39	9,100
	E3- H₂O₂-C		14,82	10,25	11,41	12,250
	E4- H₂O₂-C	60	15,02	9,36	11,38	6,825
	E5- H₂O₂-C		15,39	10,15	11,18	4,450
	E6- H₂O₂-C		15,08	11,1	11,26	5,400
D2 (0.087+0.07)	E7- H₂O₂-C	30	15,10	11,58	11,39	14,200
	E8- H₂O₂-C		15,18	12,18	11,42	15,600
	E9- H₂O₂-C		15,16	11,23	11,38	14,500
	E10- H₂O₂-C	60	15,38	13,56	11,25	6,800
	E11- H₂O₂-C		15,35	14,09	11,3	6,600
	E12- H₂O₂-C		15,28	14,5	11,28	7,200
D3 (0.23+0.07)	E13- H₂O₂-C	30	15,22	13,46	11,43	15,800
	E14- H₂O₂-C		14,8	11,12	11,41	16,800
	E15- H₂O₂-C		15,07	12,1	11,42	12,800
	E16- H₂O₂-C	60	15,17	15,68	11,27	9,800
	E17- H₂O₂-C		15,32	15,08	11,17	6,600
	E18- H₂O₂-C		15,08	18,15	11,21	7,200

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE PIEZAS DE ACERO PROVENIENTES
DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS Y TERMOQUÍMICOS PARA DISMINUIR LA PRESENCIA DE
CIANUROS DE LA EMPRESA ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.**

Anexo C-3: Parámetros Físico-químicos después del tratamiento del agua residual con NaClO T= 24°C, rpm= 700, pHi= 11.5

Dosificaciones (ml)	# Muestras	Tiempo de reacción(min)	Conductividad (ms/cm)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	pH	CN- (mg/l)
D1 (0.064)	E1-NaClO	30	11,46	4,86	11,46	25,500
	E2-NaClO		13,97	5,52	11,39	24,500
	E3-NaClO		14,91	6,02	11,48	26,300
	E4-NaClO	60	15,36	6,09	11,45	25,100
	E5-NaClO		15,03	6,48	11,44	22,800
	E6-NaClO		15,08	6,37	11,38	24,100
D2 (0.083)	E7-NaClO	30	15,3	7,13	11,31	26,850
	E8-NaClO		14,48	7,16	11,38	28,700
	E9-NaClO		14,59	6,98	11,29	25,800
	E10-NaClO	60	15,36	6,92	11,19	24,600
	E11-NaClO		15,14	6,98	11,25	26,701
	E12-NaClO		14,99	6,49	11,21	24,900
D3 (0.17)	E13-NaClO	30	15,55	6,61	11,29	28,600
	E14-NaClO		15,35	7,02	11,34	27,400
	E15-NaClO		15,56	6,7	11,30	29,600
	E16-NaClO	60	15,45	6,94	11,31	25,900
	E17-NaClO		15,44	6,95	11,30	24,600
	E18-NaClO		15,82	6,29	11,15	27,700

Fuente: Luna, 2016