



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA TEXTIL

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO TEXTIL**

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR DE
ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL ESTUDIO DE
TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE TINTURA Y
ACABADO TEXTIL**

ELABORADO POR:

JARAMILLO TERÁN ENELIO XAVIER

DIRECTOR DE TESIS

DR. NELSON MORALES

ASESOR DE TESIS

ING. HERNAN IZURIETA

Ibarra, 11 de Enero del 2012

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo con tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN REACTOR DE ELECTROCOAGULACION PARA EL ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE TINTURA Y ACABADO TEXTIL”, fue desarrollado en su totalidad por Enelio Xavier Jaramillo Terán bajo mi supervisión.

.....

Dr. Nelson Morales.

CI:

DECLARACIÓN

Yo, Enelio Xavier Jaramillo Terán, con cédula de identidad No. 100217630-1, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las Leyes de Propiedad Intelectual y Normatividad vigente de la misma.

Enelio Xavier Jaramillo Terán

CI: 100217630-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR

DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejamos sentada nuestra voluntad de participar en este proyecto, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
CEDULA DE IDENTIDAD:	100217630-1
APELLIDOS Y NOMBRES:	JARAMILLO TERÁN ENELIO XAVIER
DIRECCIÓN:	QUITO-CALDERÓN-BARRIO EL CLAVEL, CALLE LOS CIPRECES y GIOVANY CALLE, CONJUNTO LA CAMPIÑA CASA 54
E-MAIL	enelioxjt@hotmail.es
TELÉFONO MÓVIL	098808902

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE TINTURA Y ACABADO TEXTIL
AUTOR:	ENELIO XAVIER JARAMILLO TERÁN
FECHA:	2 de Febrero del 2012
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO TEXTIL
ASESOR:	Dr. NELSON MORALES

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Enelio Xavier Jaramillo Terán, con cédula de identidad No 100217630-1, en calidad de autora y titular de los derechos Patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 143.

Enelio Xavier Jaramillo Terán

CI: 100217630-1



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO A
FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Enelio Xavier Jaramillo Terán, con cédula de identidad No 100217630-1, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los Derechos Patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4,5 y 6 en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA EL ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE TINTURA Y ACABADO TEXTIL, que ha sido desarrollada para optar por el título de INGENIERO TEXTIL, en la UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

FIRMA.....

NOMBRES: ENELIO XAVIER JARAMILLO TERÁN

CÉDULA: 100217630-1

Ibarra, a los dos días del mes de Febrero del 2012.

ÍNDICE		Pág.
INTRODUCCIÓN		1
PARTE TEÓRICA		
CAPÍTULO I		
1 EL AGUA		5
1.1. GENERALIDADES		5
1.2. USOS DEL AGUA		6
1.2.1. <u>Calidad de Agua.</u>		7
1.3. PROCESOS DE CONTAMINACIÓN EN LA INDUSTRIA TEXTIL		9
1.3.1. <u>Pre Tratamiento.</u>		11
1.3.2. <u>Tintura.</u>		13
1.3.3. <u>Estampación.</u>		15
1.3.4. <u>Acabados.</u>		15
1.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA TEXTIL		15
1.4.1. <u>Materiales que deben ser removidos.</u>		20
1.4.2. <u>Tipo de Contaminantes Causados por el Ennoblecimiento Textil.</u>		22
1.5. PROCESOS DE MINIMIZACIÓN Y PREVENCIÓN		27
1.5.1. <u>Eficiencia de Procesos.</u>		28
1.5.2. <u>Medidas Preventivas.</u>		29
CAPÍTULO II		
2 TRATAMIENTO DE EFLUENTE LÍQUIDO RESIDUAL.		31
2.1. GENERALIDADES.		31
2.2. TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO		32
2.2.1. <u>Coagulación, Floculación y Precipitación.</u>		33
2.2.1.1. <u>Coagulación.</u>		34
2.2.1.2. <u>Floculación.</u>		36
2.2.1.3. <u>Precipitación.</u>		38
2.2.2. <u>Adsorción.</u>		39
2.2.3. <u>Oxidación y Reducción.</u>		40
2.3. TRATAMIENTO BIOLÓGICO.		40
2.3.1. <u>Adsorción biológica.</u>		41

2.3.2.	<u>Desorción biológica.</u>	41
2.3.3.	<u>Biodegradación.</u>	42
2.3.3.1	<u>Aerobios.</u>	42
2.3.3.2.	<u>Anaerobios.</u>	42
2.3.4.	<u>Lagunajes.</u>	43
2.3.5.	<u>Fangos activados.</u>	44
2.3.6.	<u>Cultivos Fijos.</u>	44
2.4.	TRATAMIENTOS TERCEARIOS	44
2.4.1.	<u>Filtración.</u>	45
2.4.2.	<u>Desinfección Química.</u>	46
2.4.3.	<u>Remoción de Nutrientes.</u>	48
CAPÍTULO III		
3	LA ELECTRÓLISIS	49
3.1.	IONIZACIÓN. HIPÓTESIS DE ARRHENIUS	51
3.2.	MECANISMO DE LA ELECTRÓLISIS	51
3.3.	LEYES DE LA ELECTRÓLISIS	56
3.4.	APLICACIONES DE LA ELECTRÓLISIS	59
3.4.1.	<u>Galvanotecnia.</u>	60
3.4.2.	<u>Electrometalurgia.</u>	61
3.4.3.	<u>Acumuladores, baterías y pilas.</u>	61
3.4.4.	<u>Electrocoagulación.</u>	63
PARTE PRÁCTICA		
CAPÍTULO IV		
4	MATERIALES Y ACCESORIOS.	69
4.1.	MATERIALES.	69
4.1.1.	<u>Tanque reservorio.</u>	69
4.1.2.	<u>Tubería.</u>	70
4.1.3.	<u>Reactor de Electrocoagulación.</u>	70
4.1.3.1.	<u>Cuba trapezoidal.</u>	71
4.1.3.2.	<u>Electrodos de sacrificio.</u>	71
4.1.3.3.	<u>Sistema de inyección del ELRAT.</u>	71
4.1.4.	<u>Rectificador de Corriente.</u>	72
4.2.	ACCESORIOS.	73
CAPÍTULO V		
5	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	77
5.1.	DE LA CELDA DEL REACTOR	77
5.2.1.	<u>Dimensiones de la Cuba.</u>	77

5.2.2.	<u>Sistema de Alimentación.</u>	78
5.2.3.	<u>Los Electroodos.</u>	79
5.2.	DEL SISTEMA ELÉCTRICO.	80
5.3.	SISTEMA DE ANCLAJE DE ELECTRODOS.	81
5.3.1.	<u>Número de Electroodos.</u>	82
5.4.	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO.	83
CAPÍTULO VI		
6	LA ELECTROCOAGULACIÓN	85
6.1.	FENOMENOS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN	86
6.1.1.	<u>Naturaleza Física.</u>	86
6.1.2.	<u>Naturaleza Química y Electroquímica.</u>	91
6.2.	ANÁLISIS DE FUNCIÓN DE VARIABLES	94
6.2.1.	<u>Consumo de Energía</u>	96
CAPÍTULO VII		
7	EXPERIMENTOS	97
7.1.	ENSAYO BACH.	99
7.2.	ENSAYOS DINÁMICOS.	100
7.2.1.	<u>Ensayo uno.</u>	100
7.2.2.	<u>Ensayo Dos.</u>	101
7.2.3.	<u>Ensayo tres.</u>	103
7.2.4.	<u>Ensayo cuatro.</u>	104
7.3.	ANALISIS DE COSTOS DEL TRATAMIENTO.	106
CAPÍTULO VIII		
8	RESULTADOS.	109
8.1.	DE LOS MATERIALES Y ACCESORIOS.	109
8.2.	DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.	109
8.3.	DE LA ELECTROCOAGULACION.	110
8.4.	DE LOS EXPERIMENTOS Y EVALUACIONES.	111
8.4.1.	<u>Ensayo Bach.</u>	111
8.4.2.	<u>Ensayo uno.</u>	112
8.4.3.	<u>Ensayo dos.</u>	112
8.4.4.	<u>Ensayo tres.</u>	113
8.4.5.	<u>Ensayo cuatro.</u>	113
CAPÍTULO IX		
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
9.1.	CONCLUSIONES.	115
9.1.1.	DE LOS MATERIALES Y ACCESORIOS.	115

9.1.2.	DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.	115
9.1.3	DE LA ELECTROCOAGULACIÓN.	116
9.1.4.	DE LOS EXPERIMENTOS Y EVALUACIONES.	116
9.1.4.1.	<u>Ensayo Bach.</u>	116
9.1.4.2.	<u>Ensayo uno.</u>	116
9.1.4.3.	<u>Ensayo dos.</u>	116
9.1.4.4.	<u>Ensayo tres.</u>	116
9.1.4.5.	<u>Ensayo cuatro</u>	117
9.2.	RECOMENDACIONES	120
9.3.	ANEXOS	
	BIBLIOGRAFÍA	121
	GLOSARIO	123
	ANEXOS	124

ÍNDICE DE GRÁFICOS

N.	DETALLE	pág.
Gráfico 1	Distribución del agua en el planeta.	7
Gráfico 2	Distribución del agua dulce por su uso.	7
Gráfico 3	Distribución del consumo de agua en tintura y acabado.	9
Gráfico 4	Adsorción de partículas solidas en carbón activo.	45
Gráfico 5	Reactor elemental de electrolisis.	49
Gráfico 6	Primera ley de Faraday.	57
Gráfico 7	Segunda Ley de Faraday.	57
Gráfico 8	Tercera Ley de Faraday.	58
Gráfico 9	Proceso de electrocoagulación.	64
Gráfico 10	Diagrama esquemático del reactor de electrocoagulación y de los electrodos.	71
Gráfico 11	El reactor vista superior.	79
Gráfico 12	Conexión del electrocoagulador un solo campo.	80
Gráfico 13	Conexión del electrocoagulador dos campos.	81
Gráfico 14	Esquema del sistema de electrocoagulación.	83
Gráfico 15	Doble capa de una partícula coloidal	86
Gráfico 16	Acción de la coagulación	87
Gráfico 17	Fuerzas de atracción de Van Der Walls	88
Gráfico 18	Conexión de electrodos en un solo campo.	101
Gráfico 19	Conexión de electrodos en dos campos.	102
Gráfico 20	Electrodos conexión cuatro campos.	103
Gráfico 21	Alternación de conexión.	106
Gráfico 22	Porcentaje de remoción del ensayo Bach.	111
Gráfico 23	Porcentaje de remoción ensayo uno.	112
Gráfico 24	Porcentaje de remoción ensayo dos.	112
Gráfico 25	Porcentaje de remoción ensayo tres	113
Gráfico 26	Porcentaje de remoción ensayo cuatro	114
Gráfico 27	Comparativo de remoción de ensayos respecto a la Norma de DQO	118
Gráfico 28	Comparativo de remoción de ensayos respecto a la Norma de SS.	119

ÍNDICE DE FOTOS

N.	DETALLE	pág..
Foto 1	Tanque reservorio (El Autor)	70
Foto 2	Reactor de electrocoagulación. (El Autor)	70
Foto 3	Rectificador de corriente. (El Autor)	72
Foto 4	De izquierda a derecha multímetro y amperímetro. (El Autor)	73
Foto 5	Cronómetro. (El Autor)	74
Foto 6	Termómetro. (El Autor)	74
Foto 7	Peachímetro. (El Autor)	75
Foto 8	Sensor de Conductividad. (El Autor)	75
Foto 9	Del sistema de anclaje y separación de electrodos. (El Autor)	82
Foto 10	El reactor dándose la electrocoagulación. (El Autor)	85
Foto 11	Generación de espuma en la electrocoagulación (El Autor).	90
Foto 12	Electrodos con conexión para dos campos. (El Autor)	103
Foto 13	El electrocoagulador actuando en el ensayo cinco. (El Autor)	105
Foto 14	Coagulación y precipitación (El Autor)	110

ÍNDICE DE TABLAS

N.	DETALLE	Pág.
Tabla 1	Clasificación de parámetros indicadores de la calidad del agua	9
Tabla 2	Clasificación de contaminantes de las aguas residuales de la IT.	17
Tabla 3	Componente-efecto de contaminante y concentración.	19
Tabla 4	Biodegradabilidad de Agua Residual.	21
Tabla 5	Caracterizaciones Físico químicas de la descarga líquida.	26
Tabla 6	Limites máximo permisible para efluente.	27
Tabla 7	Agentes de precipitación y sus características.	38
Tabla 8	Características físico-químicas de las descargas líquidas.	98
Tabla 9	Condición inicial del ALRAT.	98
Tabla 10	Caracterización ensayo Bach.	99
Tabla 11	Descripción porcentual de remoción Bach	100
Tabla 12	Caracterización del efluente de ensayo uno	101
Tabla 13	Descripción porcentual de remoción del ensayo uno.	101
Tabla 14	Caracterización del efluente ensayo dos.	102
Tabla 15	Descripción porcentual de remoción del ensayo dos.	102
Tabla 16	Caracterización del efluente ensayo tres.	104
Tabla 17	Descripción porcentual de remoción del ensayo tres.	104
Tabla 18	Caracterización del efluente ensayo cuatro	105
Tabla 19	Descripción porcentual de remoción del ensayo cuatro.	106
Tabla 20	Resultados del diseño y construcción	110
Tabla 21	Resultados analíticos del ensayo cuatro.	114