



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES
DEL PROCESO DE LAVADO Y TINTURADO DE JEANS
EN LA EMPRESA “MUNDOCOLOR” MEDIANTE
ELECTROCOAGULACIÓN.”**

**BYRON GEOVANNY OÑA PAZMIÑO
DAVID RUPERTO FALCONÍ CEDILLO**

TESIS DE GRADO

**Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO INDUSTRIAL**

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-02-05

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

BYRON GEOVANNY OÑA PAZMIÑO

Titulada:

**“TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE
LAVADO Y TINTURADO DE JEANS EN LA EMPRESA “MUNDOCOLOR”
MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Angel Guamán Mendoza.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Carlos Álvarez Pacheco.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-02-05

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

DAVID RUPERTO FALCONÍ CEDILLO

Titulada:

**“TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE
LAVADO Y TINTURADO DE JEANS EN LA EMPRESA “MUNDOCOLOR”
MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Angel Guamán Mendoza.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Carlos Álvarez Pacheco.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: Byron Geovanny Oña Pazmiño

TÍTULO DE LA TESIS: “TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE LAVADO Y TINTURADO DE JEANS EN LA EMPRESA “MUNDOCOLOR” MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN.”

Fecha de Exanimación: 2013-10-16

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Ángel Guamán DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Carlos Álvarez P. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: David Ruperto Falconí Cedillo

TÍTULO DE LA TESIS: “TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUAS RESIDUALES DEL PROCESO DE LAVADO Y TINTURADO DE JEANS EN LA EMPRESA “MUNDOCOLOR” MEDIANTE ELECTROCOAGULACIÓN.”

Fecha de Exanimación: 2013-10-16

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Ángel Guamán DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Carlos Álvarez P. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual e industrial le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Byron Geovanny Oña Pazmiño

David Ruperto Falconí Cedillo

DEDICATORIA

Dedico esta obra a quienes fueron el motor de mi vida mis padres Karin Oña y Piedad Pazmiño quienes siempre me brindaron su apoyo y amor para poder alcanzar mis metas, también a mi hermana María Gabriela por confiar en mí, a mi novia Myriam Esparza y a mi hija Domenik Eliana por su amor el cual me da la fuerza y aliento durante mis estudios superiores y desarrollo de este documento y todos mis amigos de corazón les agradezco por su apoyo.

Byron Oña Pazmiño

Es mi deseo dedicar esta obra, en primera instancia a mis padres por estar siempre a mi lado, por inspirarme confianza y por enseñarme a superar con toda firmeza las dificultades.

Dedico este trabajo de igual manera a Karina S., por haber estado conmigo todos estos años, apoyándome y alentándome siempre con sus palabras y acciones, y a todos quienes formaron parte y contribuyeron incondicionalmente a lograr las metas y objetivos propuestos.

David Falconí Cedillo

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión.

Y en especial para todos los amigos, compañeros, ingenieros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Byron Oña Pazmiño

Mi gratitud, principalmente está dirigida a Dios, por haberme regalado la existencia y permitido concluir una etapa muy importante de mi vida.

Agradezco muy profundamente a todos quienes hicieron posible la realización del presente estudio, en especial a nuestros tutores, agradezco de forma sincera su valiosa colaboración.

David Falconí Cedillo

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVA LEGAL AMBIENTAL	3
2.1 La industria textil en el mundo	3
2.2 En el Ecuador	3
2.3 En Tungurahua	4
2.4 Términos y definiciones relacionadas con el tema	5
2.5 Legislación ambiental	7
2.5.1 <i>Constitución Política del Ecuador</i>	7
2.5.2 <i>Convenios internacionales</i>	8
2.5.3 <i>Ley de gestión ambiental</i>	8
2.5.4 <i>Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario</i>	9
2.5.5 <i>Ordenanzas municipales del cantón Ambato</i>	13
2.6 Caracterización del agua residual	15
2.6.1 <i>Físicas</i>	16
2.6.2 <i>Características químicas</i>	17
2.7 Caracterización del agua residual industrial textil	19
2.8 Tratamiento convencional de aguas	20
2.8.1 <i>Pretratamiento</i>	20
2.8.2 <i>Tratamiento primario</i>	21
2.8.3 <i>Tratamiento secundario</i>	22
2.8.4 <i>Tratamiento terciario</i>	22
2.8.5 <i>Línea de fangos</i>	23
2.9 Tratamiento de aguas mediante electrocoagulación	24
2.9.1 <i>Reacciones en el proceso electroquímico</i>	25
2.9.2 <i>Primera ley de Faraday</i>	26
2.9.3 <i>Segunda ley de Faraday</i>	27
2.9.4 <i>Ley de Ohm</i>	28
2.9.5 <i>Factores que influyen en el tratamiento de agua mediante electrocoagulación</i>	28
2.9.6 <i>Tipos electrodos requeridos</i>	32
2.10 Sedimentación	34
2.10.1 <i>Tipos de sedimentadores</i>	35
3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA MUNDOCOLOR	39
3.1 Información general de la empresa	39
3.1.1 <i>Identificación de la empresa</i>	39
3.1.2 <i>Estructura administrativa</i>	40
3.1.3 <i>Política ambiental</i>	41
3.1.4 <i>Misión y visión de la empresa</i>	42
3.2 Diagramas de aspectos e impactos ambientales	42
3.3 Evaluación del impacto ambiental	48
3.4 Caracterización del agua de entrada	51
3.5 Caracterización del agua residual	52

3.6	Parámetros críticos de calidad del agua	54
3.7	Sistema de tratamiento de agua actual	54
4.	DISEÑO DEL PROTOTIPO	56
4.1	Caudal promedio	56
4.2	Volumen de agua residual	57
4.3	Construcción del prototipo	57
4.3.1	<i>Fuente de poder</i>	57
4.3.2	<i>Electrodos</i>	58
4.3.3	<i>Construcción de los separadores</i>	62
4.3.4	<i>Construcción de la celda de electrocoagulación</i>	64
4.3.5	<i>Sistema de entrada y descarga del agua a tratar</i>	66
4.3.6	<i>Construcción del barredor</i>	67
4.3.7	<i>Construcción del sedimentador</i>	68
4.4	Automatización del sistema	71
4.5	Mantenimiento básico	72
4.5.1	<i>Medidas de mantenimiento preventivo</i>	72
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO	75
5.1	Costos directos	75
5.2	Costos indirectos	78
5.3	Costos totales del prototipo	80
6.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	82
6.1	Pruebas utilizando otros métodos	82
6.1.1	<i>Prueba de jarras</i>	82
6.1.2	<i>Prueba de filtrado</i>	83
6.1.3	<i>Prueba de remoción de color utilizando cabuya blanca</i>	85
6.2	Pruebas mediante electrocoagulación	86
6.2.1	<i>Prueba de electrocoagulación con electrodos de acero</i>	86
6.2.2	<i>Prueba de electrocoagulación con electrodos de aluminio</i>	87
6.2.3	<i>Prueba de electrocoagulación con electrodos de aluminio en un proceso continuo</i>	89
6.2.4	<i>Prueba de electrocoagulación con electrodos de aluminio y acero en un proceso continuo</i>	91
6.2.5	<i>Prueba de determinación del comportamiento de la corriente eléctrica con carga</i>	93
6.2.6	<i>Prueba de electrocoagulación con electrodos combinados de acero y aluminio en proceso continuo con el prototipo semi-automatizado</i>	96
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
7.1	Conclusiones	126
7.2	Recomendaciones	127

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS
PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Categorización de lavanderías en Ambato.....4
2	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público11
3	Áreas de la empresa39
4	Diagrama de aspectos e impactos del proceso de tinturado directo.....42
5	Diagrama de aspectos e impactos del proceso de tinturado reactivo43
6	Diagrama de aspectos e impactos del proceso sulfuroso44
7	Diagrama de aspectos e impactos del proceso de tinturado manual45
8	Diagrama de aspectos e impactos del proceso de blanqueo.....46
9	Evaluación del impacto ambiental 148
10	Evaluación del impacto ambiental 249
11	Evaluación del impacto ambiental 350
12	Caracterización del agua de entrada51
13	Caracterización del agua residual53
14	Parámetros críticos de la calidad del agua54
15	Cálculo de caudal promedio56
16	Resultado de caudal promedio57
17	Calculo de la pérdida de masa de los electrodos.....59
18	Tiempo de consumo de los electrodos.....60
19	Volumen de agua contenido en la celda64
20	Costos de materiales directos.....75
21	Costo de elementos eléctricos y electrónicos.....75
22	Costo de maquinado.....76
23	Costo de elementos normalizados.....77
24	Costos de elementos hidráulicos77
25	Costos de montaje.....78
26	Costo directo total78
27	Costo de materiales indirectos78
28	Costos de ingeniería.....79
29	Gastos de imprevistos79
30	Gastos varios.....80
31	Costos indirectos totales80
32	Costos totales del prototipo.....80
33	Resultado de la prueba de jarras83
34	Resultado de análisis antes y después del tratamiento.....94
35	Comportamiento del voltaje.....95
36	Comportamiento de la intensidad95
37	Comportamiento de la potencia96
38	Resultados analíticos del agua residual.....97
39	Resultado del comportamiento eléctrico Prueba N°198
40	Resultados químicos Prueba N° 1100
41	Resultado del comportamiento eléctrico Prueba N°2101
42	Resultados químicos Prueba N° 2.....103
43	Resultados del comportamiento eléctrico Prueba N°3.....105
44	Resultados químicos Prueba N°3.....107
45	Resultado del comportamiento eléctrico Prueba N°4109
46	Resultados químicos, Prueba N°4, subcelda 1111
47	Resultados químicos, Prueba N°4, subcelda 2.....113
48	Resultados químicos, Prueba N°4, subcelda 3.....114

49	Resultados químicos, Prueba N°4, subcelda 4.....	115
50	Resultados químicos, Prueba N°4, subcelda 5.....	116
51	Conductividad eléctrica, Prueba N°4.....	117
52	Potencial de hidrogeno, Prueba N°4.....	118
53	Color, Prueba N°4.....	118
54	DBO ₅ , Prueba N°4.....	119
55	DQO, Prueba N°4.....	120
56	Resultado de conductividad eléctrica en todas las pruebas.....	121
57	Resultados de color en todas las pruebas.....	122
58	Resultado del pH en todas las pruebas.....	123
59	Resultado de DBO ₅ , en todas las pruebas.....	123
60	Resultado de DQO, en todas las pruebas.....	124

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Flóculos en superficie.....	21
2	Tratamiento secundario.....	22
3	Tratamiento terciario.....	22
4	Proceso de depuración de aguas	23
5	Reactores tipo Bach	33
6	Reactor tipo filtro.....	33
7	Reactor de cilindro rotativo	34
8	Velocidad de sedimentación	35
9	Sedimentador convencional.....	36
10	Pantalla difusora	37
11	Sedimentador de alta tasa	38
12	Estructura administrativa	40
13	Toma de muestras	52
14	Sistema de tratamiento actual	55
15	Electrodos	63
16	Sistema de entrada de agua.....	67
17	Diagrama de escalera.....	72
18	Prueba de jarras.....	82
19	Prueba de filtrado.....	84
20	Prueba con cabuya blanca.....	85
21	Prueba con electrodos de acero.....	86
22	Resultado con electrodos de acero.....	87
23	Prueba con electrodos de aluminio	88
24	Resultado con electrodos de aluminio	88
25	Prueba con electrodos de aluminio en proceso continuo	90
26	Resultado con electrodos de aluminio en proceso continuo	91
27	Prueba con electrodos de aluminio y acero.....	92
28	Resultado con electrodos de aluminio y acero.....	93
29	Prueba para determinación de comportamiento de la corriente	94
30	Resultado para determinación de comportamiento de la corriente	94
31	Variación de parámetros químicos.....	95
32	Comportamiento eléctrico prueba N°1	98
33	% de variación de Vcc y A prueba N°1	99
34	Comportamiento de la potencia prueba N°1	99
35	% variación de resultados prueba N°1	100
36	Comportamiento eléctrico prueba N°2	102
37	% de variación de Vcc y A prueba N°2	102
38	Comportamiento de la potencia prueba N°2.....	102
39	% de resultados prueba N°2.....	104
40	Comportamiento eléctrico prueba N°3	105
41	% de variación de Vcc y A prueba N°3	106
42	Comportamiento de la potencia prueba N°3.....	106
43	% variación de resultados prueba N°3.....	108
44	Comportamiento eléctrico prueba N°4	109
45	% de variación de Vcc y A prueba N°4	110
46	Comportamiento de la potencia prueba N°4	110
47	% variación de resultados prueba N°4.1	112
48	% variación de resultados prueba N°4.2	113
49	% variación de resultados prueba N°4.3	114

50	% variación de resultados prueba N°4.4	115
51	% variación de resultados prueba N°4.5	116
52	Conductividad en diferentes celdas	117
53	pH en diferentes celdas	118
54	Color en diferentes celdas	119
55	DBO ₅ en diferentes celdas	119
56	DQO diferentes celdas	120
57	Comportamiento de la potencia de todas las pruebas	121
58	% variación de conductividad eléctrica de todas las pruebas	122
59	% variación de color de todas las pruebas	122
60	% variación de pH de todas las pruebas.....	123
61	% variación de DBO ₅ de todas las pruebas	124
62	% variación de DQO de todas las pruebas.....	124

LISTA DE ABREVIACIONES

pH	Potencial de hidrógeno
TULAS	Texto de legislación ambiental secundario
RAOHE	Reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
VLP	Valor límite permisible
Cesta	Centro de Servicios técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental
Vcc	Voltaje de corriente continua
Vca	Voltaje de corriente alterna
TPH	Hidrocarburos Totales de Petróleo
ECC	Extracto carbón cloroformo
PAD	Permiso Ambiental Definitivo
PAP	Permiso Ambiental Provisional
NTU	Unidades nefelométricas de turbidez
SCR	Control Rectificador de Silicio

LISTA DE ANEXOS

- A** Análisis del agua de entrada a la empresa
- B** Análisis del agua residual
- C** Análisis del agua residual en la prueba con la celda estática
- D** Análisis del agua residual antes de tratar con el prototipo final
- E** Resultados de la prueba N°1
- F** Resultados de la prueba N°2
- G** Resultado de la prueba N°3
- H** Resultado de la prueba N°4, primera llave
- I** Resultado de la prueba N°4, segunda llave
- J** Resultado de la prueba N°4, tercera llave
- K** Resultado de la prueba N°4, cuarta llave
- L** Resultado de la prueba N°4, quinta llave

RESUMEN

El proyecto de tratamiento avanzado de aguas residuales del lavado y tinturado de jeans en la empresa “Mundo Color” mediante electrocoagulación, su objetivo es tratar las aguas residuales mediante la construcción de un prototipo, comparando todos los parámetros químicos del agua residual y el agua tratada.

Se realizó un análisis de los diferentes métodos para tratamientos de aguas residuales, enfocándonos principalmente en el tratamiento por electrocoagulación, estudiando sus ventajas, desventajas y sus diferentes formas de funcionamiento.

Se realizó un análisis del impacto ambiental que está generando la empresa, especialmente en el recurso agua.

Se realizaron una serie de experimentos para poder determinar el método más eficiente, teniendo al tratamiento por electrocoagulación como el más idóneo para poder tratar el agua residual de la industria textil, luego de este análisis se procedió a construir el prototipo de una planta de tratamiento de aguas mediante electrocoagulación, que consta de un tanque ecualizador, una celda de electrocoagulación, un sistema de remoción de lodos mediante barrido y un tanque sedimentador; éste proceso está semi-automatizado.

Con el prototipo se logró verificar que el método de electrocoagulación logra remover los parámetros críticos del agua, haciendo que éstos cumplan con la norma respectiva, cabe recalcar que se obtuvo una mayor eficiencia en la remoción del color, logrando reducirlo en un 96%.

Se recomienda implementar estos sistemas en las empresas de lavado y teñido de jeans para evitar su alto nivel de contaminación.

ABSTRACT

This investigation was carried out the project advanced from wastewater treatment washing and dyeing jeans in the enterprise “Mundo Color”, by electrocoagulation, aims to treat this type of wastewater through the construction of a prototype, analyze all residual water chemistry and water treated.

This research was an analysis of the different methods of water treatment residuals, focusing primarily on the treatment by electrocoagulation, studying their advantages, disadvantages and different ways of operating, besides, it was undertaken an environmental impact analysis that is generating the company, especially on water resources.

Identifying the problem of water pollution, it was proceeded to make a series of experiments order to determine the most efficient method, through treatment by electrocoagulation as suitable, in order to treat the waste water from the textile industry. This analysis then proceeded to construct the prototype of water treatment plant by electrocoagulation, which consists of an equalization tank, a cell electrocoagulation paddle system.

By experimentation with prototype was achieved verify that electrocoagulation method fails to remove the critical parameters of water, causing them to comply with the relevant standard, it should be emphasized that there was a greater efficiency in the removal of color, achieving reduce by 96%.

It's recommended to implement these systems in enterprises and clothes washing and dyeing jeans to prevent highly contaminated.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

El proceso de lavado y tinturado en forma artesanal está definido por una serie de actividades en cada una de las cuales se tiene entradas y salidas, el consumo de agua es importante, ya que es el medio adecuado para la efectividad de este servicio, sin embargo el agua del proceso sale con una gran cantidad de contaminantes sean éstos partículas en suspensión, residuos de sustancias químicas, detergentes, residuos sólidos, etc.

La ausencia de un método efectivo que permita disminuir los niveles de contaminación coadyuva a la generación de impactos ambientales y el incumplimiento de la normativa legal correspondiente, generando inconformidades y por ende costos por concepto de multas.

El diseño de un tratamiento para dichas aguas de procesos realizado de una forma eficiente y efectiva disminuirá sin duda alguna el aporte financiero que se está realizando actualmente en otro proceso de tratamiento cuya efectividad se ha comprobado que es nula debido a que se la adaptó sin un adecuado estudio técnico. Es importante recalcar que las Normas Ambientales actuales exigidas por el Ministerio de Ambiente y cuyo incumplimiento pondrá en riesgo el normal funcionamiento de la empresa debido al alto grado de contaminación del cual está siendo generadora.

Hasta el momento se ha determinado que el método de electrocoagulación es el más óptimo en la remoción del color y otros parámetros como el DBO, DQO, turbidez, entre otros, en tal virtud es necesario llevar la experimentación del laboratorio a escala industrial, en la cual interviene el diseño automatizado del prototipo que permitirá el tratamiento del agua residual industrial textil antes mencionada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general. Realizar el tratamiento de aguas residuales del proceso de lavado y tinturado de jeans en la empresa “MUNDO COLOR” mediante electrocoagulación.

1.2.2 Objetivos específicos:

Analizar las características iniciales del agua residual

Identificar los parámetros críticos para la descontaminación

Diseñar el prototipo del sistema de tratamiento avanzado

Analizar los resultados obtenidos

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVA LEGAL AMBIENTAL

2.1 La industria textil en el mundo

La actividad textil en sus inicios se basaba en la producción doméstica, la cual se refiere al trabajo en casa o talleres familiares, que permitían a los trabajadores obtener recursos en la temporada baja de la agricultura, se trabajaba en la producción textil en la cual a través de un intermediario se hacía la entrega de materias primas y a la entrega de los bienes manufacturados el pago de la misma.

La historia de la industria textil se remonta al primer proceso de la industrialización en regiones de Europa y Estados Unidos y conforme otros países comenzaron su desarrollo, la industria textil jugó un papel importante como medio para la industrialización. Las innovaciones tecnológicas exigieron pasar de la industria doméstica y dispersa a la fábrica, donde se concentraron maquinaria y trabajadores formando una cadena de producción.

La nueva organización aumentó la productividad del trabajo e hizo descender los costes y los precios. Posteriormente, las primeras industrias que aparecieron se dedicaron al procesamiento de la lana, hasta que a inicios del siglo XX se introduce el algodón, siendo la década de 1950 cuando se consolida la utilización de esta fibra. (TORRES, 1997 pág. 10).

2.2 En el Ecuador

Los inicios de la industria textil ecuatoriana se remontan a la época de la colonia, cuando la lana de oveja era utilizada en los obrajes donde se fabricaban los tejidos.

Hoy en día, la industria textil ecuatoriana fabrica productos provenientes de todo tipo de fibras, siendo las más utilizadas el algodón, el poliéster, el nylon, los acrílicos, la lana y la seda.

A lo largo del tiempo, las diversas empresas dedicadas a la actividad textil ubicaron sus instalaciones en diferentes ciudades del país, siendo las provincias con mayor número de industrias dedicadas a esta actividad: Pichincha, Imbabura, Tungurahua, Azuay y Guayas.

La diversificación en el sector ha permitido que se fabrique una gran variedad de productos textiles en el Ecuador, siendo los hilados y los tejidos los principales en volumen de producción. No obstante, cada vez es mayor la producción de confecciones textiles, tanto las de prendas de vestir como de manufacturas para el hogar (DAROS, 2005 pág. 5).

2.3 En Tungurahua

En la provincia del Tungurahua, está localizado el Cantón Pelileo, cuyo principal atractivo es la industria de jeans, el 70% de la materia prima utilizada proviene de Perú y Colombia y un 20% de la industria nacional. El 20% de las prendas se venden en los 123 almacenes de Pelileo, el 80% a nivel nacional, son 850 mil prendas que se producen mensualmente y esto genera un ingreso de aproximadamente 7 millones de dólares. En Pelileo se identifican más de 350 empresas artesanales dedicadas a la fabricación de jeans, y alrededor de 58 lavanderías de jeans que existen en el sector.

Un estudio desarrollado por Vicunha textil, indica que en la actualidad dentro del cantón Pelileo existen 58 empresas catastradas en el Departamento de Gestión Ambiental del Gobierno Municipal de Pelileo, el criterio asumido para categorizar a las lavanderías se basa en la producción actual y/o por la capacidad instalada dentro de cada empresa.

Tabla 1. Categorización de lavanderías en Ambato

CATEGOTIZACION	Nº EMPRESAS	PORCENTAJES
Lavanderías grandes	19	32.8%
Lavanderías medianas	12	20.7%
Lavanderías pequeñas	23	39.7%
Lavanderías muy pequeñas	4	6.8%
TOTAL	58	100%

Fuente: Vicunha textil. Boletín Mensual 10, pág. 2.

Categorizadas como lavanderías grandes mayor a 30.000 prendas al mes, lavanderías medianas mayor a 10.000 prendas y menor a 30.000 prendas al mes, y lavanderías pequeñas mayor a 3.000 prendas pero menor a 10.000 prendas al mes y lavandería muy pequeña menor a 3.000 prendas. (VICUNHA, 2009 pág. 6).

2.4 Términos y definiciones relacionadas con el tema

Abiótico.- Se refiere al medio en el que no es posible que se desarrolle la vida.

Aguas residuales.-Se consideran aguas residuales a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad, incluyéndose a estas actividades domésticas e industriales.

Anión.- Un anión es un ion con carga eléctrica negativa, es decir, que ha ganado electrones.

Biótico.- Hace referencia a lo característico de los seres vivos o que está vinculado a ellos.

Catión.- Un catión es un ion con carga eléctrica positiva, es decir, que ha perdido electrones.

Coagulación.- Este es un proceso que permite incrementar la tendencia de las partículas de agregarse unas con otras para formar partículas mayores y así precipitar rápidamente.

Coloide.- Un coloide es un sistema formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas.

Demanda biológica de oxígeno (DBO).- Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión.

Demanda química de oxígeno (DQO).- Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida.

Detergente.- Es una sustancia tensoactiva que tiene la propiedad química de disolver la suciedad o las impurezas de un objeto sin corroerlo.

Efluentes industriales.- Residuos provenientes de la industria; pueden ser clasificados ampliamente de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas, por su comportamiento en las aguas receptoras y en la forma como estos afectan el medio ambiente acuático, generalmente contienen sustancias orgánicas disueltas incluyendo tóxicos, materiales

biodegradables y persistentes, sustancias inorgánicas disueltas incluyendo nutrientes, sustancias orgánicas insolubles y solubles.

Electrodo.- Un electrodo es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, por ejemplo un semiconductor, un electrolito, el vacío, un gas, etc.

Electrólisis.- La electrólisis es el proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad. En ella ocurre la captura de electrones por los cationes en el cátodo (una reducción) y la liberación de electrones por los aniones en el ánodo (una oxidación).

Electrolito.- Un electrolito es cualquier sustancia que contiene iones libres, los que se comportan como un medio conductor eléctrico.

Electrón.- Un electrón es una partícula elemental estable cargada negativamente que constituye uno de los componentes fundamentales del átomo.

Floculación.- La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

Flóculo.- Es la masa que se forma por la acumulación de partículas suspendidas.

Gestión ambiental.- Es el conjunto de diligencias conducentes al manejo integral del sistema ambiental.

Impacto ambiental.- El impacto ambiental es el efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente.

Impureza.- Es una sustancia dentro de un limitado volumen de líquido, gas o sólido, que difieren de la composición química de los materiales o compuestos.

Ion.- Es una partícula cargada eléctricamente constituida por un átomo o molécula que no es eléctricamente neutra.

Oxidación.- La oxidación es una reacción química donde un metal o un no metal ceden electrones, y por tanto aumenta su estado de oxidación.

pH.-El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, este indica la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias.

Proceso de tinturado.- Es el proceso mediante el cual se procede a un cambio de coloración de la fibra textil utilizando colorantes para reproducir el color solicitado.

Riesgos químicos.- Es aquel riesgo susceptible de ser producido por una exposición no controlada a agentes químicos la cual puede producir efectos agudos o crónicos y la aparición de enfermedades.

Sedimentación.- Es el proceso por el cual el sedimento en movimiento a través de un fluido se deposita en el fondo.

Sedimentador.- Es un recipiente diseñado para acelerar la precipitación de los flóculos que se encuentran en un fluido.

Sólidos totales disueltos (TDS).- Es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas, en forma molecular, ionizada o micro-granular, que contienen los líquidos.

Turbidez.- Es la falta de transparencia de un líquido debida a la presencia de partículas en suspensión.

2.5 Legislación ambiental

La legislación ambiental es un conjunto de leyes, acuerdos internacionales y nacionales, decretos, reglamentos, ordenanzas, planes de manejo y todas las normas relacionadas con el medio ambiente su conservación, explotación e impactos positivos y negativos resultados de las actividades de los seres bióticos y abióticos.

Jerarquía jurídica

- Constitución política del Ecuador
- Tratados Internacionales reconocidos por el organismo legislativo.
- Leyes ordinarias y orgánicas: Ley de Gestión Ambiental, Ley Forestal, Ley de Biodiversidad.
- Decretos Ejecutivos (Reglamentos): RAOHE (Reglamento ambiental para las operaciones hidrocarburíferas en el Ecuador), Decreto Ejecutivo 1215, TULAS (Texto unificado de la legislación ambiental secundaria).
- Acuerdos Ministeriales (Instructivos de aplicación).
- Ordenanzas Municipales, Cantonales.

2.5.1 Constitución Política del Ecuador. A partir de octubre del 2008 Ecuador cuenta con una nueva Constitución, destacándose el reconocimiento de los derechos de la naturaleza, un nuevo régimen de tutela de los derechos ambientales, regulaciones sobre la biodiversidad y recursos naturales y una propuesta institucional que reforma significativamente la estructura anterior.

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*.

Artículo 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.

Artículo 396. El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño (CONSTITUYENTE, 2008 págs. 24,25,177).

2.5.2 *Convenios internacionales.* Entre los más importantes para el Ecuador tenemos los siguientes:

1972 Estocolmo (Suecia). Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano. Conocida como “Conferencia de Estocolmo”. Adoptó la Declaración sobre el Medio Humano.

1989 Basilea (Suiza). Convención sobre el control del transporte transfronterizo de desechos peligrosos y su deposición final. “Convención de Basilea”.

1992 Río de Janeiro (Brasil). Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. “Cumbre de la Tierra”. El ambiente no se interpretaba como algo separado del desarrollo.

2.5.3 *Ley de gestión ambiental.* La Ley de Gestión Ambiental establece que la Autoridad Ambiental Nacional la ejerce el Ministerio del Ambiente, instancia rectora, coordinadora y reguladora del sistema nacional descentralizado de Gestión Ambiental; sin perjuicio de las atribuciones que en el ámbito de sus competencias y acorde a las Leyes que las regulan, ejerzan otras instituciones del Estado.

Artículo 20. Para el inicio de toda actividad que suponga riesgo ambiental se deberá contar con la licencia respectiva, otorgada por el Ministerio del ramo.

Artículo 21. Los sistemas de manejo ambiental incluirán estudios de línea base; evaluación del impacto ambiental; evaluación de riesgos; planes de manejo; sistemas de monitoreo; planes de contingencia y mitigación; auditorías ambientales y planes de abandono.

Una vez cumplidos estos requisitos y de conformidad con la calificación de los mismos, el Ministerio del ramo podrá otorgar o negar la licencia correspondiente.

Artículo 22. Los sistemas de manejo ambiental en los contratos que requieran estudios de impacto ambiental y en las actividades para las que se hubiere otorgado licencia ambiental, podrán ser evaluados en cualquier momento, a solicitud del Ministerio del ramo o de las personas afectadas.

2.5.4 *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario.* En este decreto nos vamos a remitir a la siguiente norma:

Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua

Libro VI, Anexo I

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

Criterios generales para la descarga de efluentes

1. El regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismos, identificando el cuerpo receptor.
2. En las tablas de la presente norma, se establecen los parámetros de descarga hacia el sistema de alcantarillado y cuerpos de agua (dulce y marina), los valores de los límites máximos permisibles, corresponden a promedios diarios. La Entidad Ambiental de Control deberá establecer la normativa complementaria en la cual se establezca: La frecuencia de monitoreo, el tipo de muestra (simple o compuesta), el número de muestras a tomar y la interpretación estadística de los resultados que permitan determinar si el regulado cumple o no con los límites permisibles fijados en la presente normativa para descargas a sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua.

3. Se prohíbe la utilización de cualquier tipo de agua, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados.
4. Las municipalidades de acuerdo a sus estándares de Calidad Ambiental deberán definir independientemente sus normas, mediante ordenanzas, considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados a las aguas. En sujeción a lo establecido en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación.
5. Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, con los parámetros establecidos de descarga en esta Norma, deberán ser tratadas mediante tratamiento convencional, sea cual fuere su origen: público o privado. Por lo tanto, los sistemas de tratamiento deben ser modulares para evitar la falta absoluta de tratamiento de las aguas residuales en caso de paralización de una de las unidades, por falla o mantenimiento.
6. Los laboratorios que realicen los análisis de determinación del grado de contaminación de los efluentes o cuerpos receptores deberán haber implantado buenas prácticas de laboratorio, seguir métodos normalizados de análisis y estar certificados por alguna norma internacional de laboratorios, hasta tanto el organismo de acreditación ecuatoriano establezca el sistema de acreditación nacional que los laboratorios deberán cumplir. .
7. Se prohíbe descargar sustancias o desechos peligrosos (líquidos-sólidos-semisólidos) fuera de los estándares permitidos, hacia el cuerpo receptor, sistema de alcantarillado y sistema de aguas lluvia.
8. Los sedimentos, lodos y sustancias sólidas provenientes de sistemas de potabilización de agua y de tratamiento de desechos y otras tales como residuos del área de la construcción, cenizas, cachaza, bagazo, o cualquier tipo de desecho doméstico o industrial, no deberán disponerse en aguas superficiales, subterráneas, marinas, de estuario, sistemas de alcantarillado y cauces de agua estacionales secos o no, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales referentes a los desechos sólidos no peligrosos.

Normas de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público

1. Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado, cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:
 - a) Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, *textiles*, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).
 - b) Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.
 - c) Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.
2. Toda descarga al sistema de alcantarillado deberá cumplir, al menos, con los valores establecidos a continuación:

Tabla 2. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Ácidos o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables.		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
			1 de 3

Caudal máximo		l/s	1.5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado.
Cianuro total	CN-	mg/l	1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo Hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5.	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1
Fósforo total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2
Nitrógeno total	N	mg/l	40
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
			2 de 3

Sólidos Sedimentables		ml/l	20
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220
Sólidos totales		mg/l	1 600
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sulfatos	SO4=	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1
Temperatura	°C		< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1
Compuestos organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,05
Organofosforados y carbonatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbonatos totales.	mg/l	0,1
Vanadio	V	mg/l	5
Zinc	Zn	mg/l	10
			3 de 3

Fuente: TULAS, Libro VI, Anexo I, pág. 326-328.

2.5.5 Ordenanzas municipales del cantón Ambato. Entre los artículos más relevantes sobre el cuidado del medio ambiente y el cumplimiento de sus normas tenemos los siguientes:

Artículo 6. Contaminación del agua

Al tenor del artículo precedente se sujetan al control de esta norma, todo desecho consistente en efluentes líquidos de fuentes fijas que se descarguen en los canales del alcantarillado público o directamente a los cursos hídricos del cantón Ambato. Para este efecto, el Control se somete a las normas de calidad establecidas por esta norma y su

reglamento y las previas en las normas de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua y la norma de calidad ambiental contemplados en el texto unificado de la legislación ambiental secundaria.

El permiso ambiental puede ser provisional (PAP) o definitivo (PAD).

El permiso ambiental provisional PAP: lo obtienen por primera vez los establecimientos que han sido registrados en el departamento del ambiente y tendrán vigencia de 90 días hasta la presentación en el departamento del ambiente del diagnóstico, auditoría ambiental o estudio de impacto ambiental esto en caso de ser nueva actividad.

Una vez presentada la documentación indicada en el párrafo anterior, si el establecimiento a criterio del departamento del ambiente ocasiona contaminación a uno de los componentes del ambiente (agua, aire, suelo), será renovado el permiso ambiental provisional por 90 días adicionales, hasta la presentación del plan de manejo ambiental. Presentando el plan de manejo ambiental se ampliara y renovara anualmente el PAP según los tiempos indicados en el plan de manejo, hasta su cumplimiento total y verificación mediante una auditoría ambiental la misma que será evaluada por el departamento del ambiente y sea emitido el respectivo informe técnico, que será el documento final ante del otorgamiento del permiso ambiental definitivo (PAD).

El PAD: lo obtienen los establecimientos que en el estudio de impacto ambiental o en el diagnóstico ambiental y auditoría ambiental, presentado en el departamento del ambiente que demuestren que no contaminan y sea verificado por el departamento mediante una inspección con su respectivo informe favorable o la correspondiente auditoría ambiental.

El PAD tendrá una validez de un año calendario, en los cuales necesita únicamente inspecciones de control para su vigencia y se renovaran en el transcurso de los 3 primeros meses del año.

Si la inspección determina situaciones anormales se suspenderá el permiso ambiental definitivo (PAD) y la empresa se someterá a las sanciones respectivas.

Artículo 17. Evaluación de impacto ambiental

Es el procedimiento administrativo de carácter técnico para determinar en forma previa, la viabilidad ambiental del diagnóstico u auditoria y plan de manejo ambiental o estudio de impacto ambiental para las actividades nuevas para lo cual el departamento del ambiente deberá dar por escrito su informe técnico rechazando o aprobando los documentos indicados anteriormente, siendo el requisito indispensable para obtener el PAP o el PAD. Este contendrá las observaciones y sugerencias así como los tiempos requeridos para que un establecimiento vaya cumpliendo con las normas técnicas de prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo previstas en la ley nacional. El departamento del ambiente realizará inspecciones periódicas a los establecimientos sujetos de control y solicitará las caracterizaciones actualizadas de sus desechos y emisiones, realizada por un profesional o laboratorio legalmente autorizados y competentes si el caso lo amerita.

Artículo 55. La presente ordenanza determina los parámetros de descarga, tanto al sistema de alcantarillado como a los cuerpos de agua. El regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismos, identificando el cuerpo receptor.

Artículo 58. Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga con los parámetros establecidos de descarga en esta ordenanza deberán ser tratadas, sea cual fuere su origen: público o privado. Por lo tanto, los sistemas de tratamiento deben ser modulares para evitar la falta absoluta de tratamiento de las aguas residuales en caso de paralización de una de las unidades, por falla o mantenimiento (GADPelileo, 2009 págs. 13,16,30,31)

2.6 Caracterización del agua residual

Las características del agua residual se pueden dividir según sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

2.6.1 Físicas. Entre las principales características físicas tenemos las siguientes:

Sólidos totales.-Se entiende como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de entre 103 y 105 °C.

Los sólidos totales pueden dividirse en filtrables y no filtrables (sólidos en suspensión). Cada una de estas categorías puede ser, a su vez, dividida en función de su volatilidad a 550 hasta ± 50 °C. A esta temperatura la fracción orgánica se oxida y desaparece en forma de gas (sólidos volátiles), quedando la fracción inorgánica en forma de ceniza (sólidos fijos).

Sólidos sedimentables.-Pueden determinarse mediante la prueba del Cono de Imhoff que utiliza un recipiente cónico de un litro de capacidad y escala graduada en ml, en el cual se llena de agua residual y se lo deja en reposo durante 60 minutos la cantidad de lodos sedimentados en éste periodo de tiempo se expresan en ml/L, constituye una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual.

El olor.-El olor es un parámetro a considerar en la calidad del agua, se deben a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento.

El color.-Término referido a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y olor. El agua residual es desagradable en su apariencia y en extremo peligroso, su contenido, principalmente debido al elevado número de organismos patógenos (virus, bacterias, etc.) causantes de enfermedades. En el caso de la industria textil el color está determinado por los diferentes colorantes utilizados en el proceso de lavado y tinturado.

La temperatura.-La temperatura del agua residual suele ser más elevada que la del agua de suministro debido a la incorporación de agua caliente procedente de diferentes usos industriales. Es un parámetro muy importante dada su influencia en el desarrollo de la vida acuática, como sobre las reacciones químicas y su velocidad de reacción; por otro lado el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría.

La turbiedad.- Se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. No obstante, si están razonablemente ligados la turbiedad y los sólidos en suspensión en el caso de efluentes procedentes de la decantación secundaria en el proceso de fangos activados.

2.6.2 *Características químicas.* Entre las principales características químicas tenemos las siguientes:

Materia orgánica.-Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y el 40% de los sólidos filtrables de un agua residual son de naturaleza orgánica. Los compuestos orgánicos se forman por las combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno en presencia de nitrógeno y en pocos casos pueden estar también presentes el azufre, fósforo y hierro. Los componentes orgánicos constituyen las proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%), grasas y aceites (8-12%).

Grasas y aceites.-Los aceites y grasas de origen vegetal y animal son comúnmente biodegradables y, aún en forma emulsificada, pueden tratarse en plantas de tratamiento biológico, sin embargo, cargas altas de grasas como las provenientes de mataderos, frigoríficos, lavanderías y otras industrias causan serios problemas de mantenimiento en las plantas de tratamiento.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).-La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aeróbicas. La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras. La oxidación bioquímica es un proceso lento que requiere, matemáticamente, un tiempo infinito para su culminación.

Demanda química de oxígeno (DQO).- La demanda química de oxígeno se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general bicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas

residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar solo en tres horas.

Oxígeno disuelto.-Gas de baja solubilidad en el agua, requerido para la vida acuática aerobia. La solubilidad del oxígeno atmosférico en aguas dulces oscila entre 7 mg/L a 35 grados centígrados y 14,6 mg/L a 0 grados centígrados para presión de 1 atm. La baja disponibilidad de oxígeno disuelto limita la capacidad auto purificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para su disposición en ríos y embalses. La concentración de saturación de OD es función de la temperatura, de la presión atmosférica y de la salinidad del agua. La determinación de OD es el fundamento del cálculo de la DBO y de la valoración de las condiciones de aerobividad del agua. En general todo proceso aerobio requiere una concentración de OD mayor de 0,5 mg/L. El suministro de oxígeno y las concentraciones de OD en tratamientos biológicos aerobios y aguas receptoras de aguas residuales son aspectos de la mayor importancia en el diseño, operación y evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Detergentes.- Los detergentes, agentes tenso activos, son compuestos constituidos por moléculas orgánicas grandes, polares, solubles en agua y aceites, que tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en los que se hallan disueltos. Su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espumas, aún en bajas concentraciones, cuando se acumulan en la interfaz aire-agua, gracias a la presencia de proteínas, partículas sólidas muy finas y sales minerales disueltas. Además, inhiben la actividad biológica y disminuyen la solubilidad del oxígeno.

Alcalinidad.- La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad de neutralizar ácidos. La alcalinidad puede generarse por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o de amonio, siendo la causa más común los bicarbonatos de calcio y magnesio. Su capacidad para neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos de pH lo hacen importante en el tratamiento químico de aguas residuales, en los procesos de remoción biológica de nutrientes, de amoníaco y en tratamientos anaeróbicos.

Cloruros.- Son comunes en aguas residuales, las concentraciones altas pueden causar problemas de calidad del agua para riego y de sabor en aguas para re uso. Los cloruros en concentraciones mayores a 15.000 mg/L son considerados tóxicos para el tratamiento biológico convencional.

Metales pesados.- Entre los elementos pesados se incluyen la plata, bario, cadmio, cromo, cobre, cobalto, níquel, plomo, zinc, hierro, mercurio, titanio, vanadio.

Los metales pesados, en altas concentraciones, son todos tóxicos, aunque alguno de ellos, como el cobre, zinc y molibdeno, son esenciales para los organismos vivos.

El mercurio, cadmio y plomo son, en general son tóxicos y reciben gran atención por ser elementos que se magnifican biológicamente, en el medio natural, a través de la cadena alimenticia.

Sulfuros.- Las bacterias anaeróbicas reductoras de sulfatos utilizan el oxígeno de los sulfatos y producen ácido sulfhídrico. En las alcantarillas el ácido sulfhídrico es oxidado por las películas microbiales formadas en las paredes de los tubos, en sulfuros o en ácido sulfúrico. El proceso de corrosión por ácido sulfúrico en estaciones de bombeo y plantas de tratamiento es similar. (LAPENÑA, 1990 págs. 66-68).

2.7 Caracterización del agua residual industrial textil

La industria textil es una de las industrias más consumistas de agua ya que requieren un promedio de 80 litros de agua por prenda procesada, esto se ve reflejado en la gran generación de agua residual.

El proceso de elaboración de productos textiles consiste de un gran número de operaciones unitarias que utilizan diversas materias primas, como algodón, lana, fibras sintéticas, o mezclas de ellas. El impacto ambiental de sus efluentes líquidos es alto negativo, por la gran variedad de materias primas, reactivos y sustancias químicas tóxicas utilizadas en el proceso de producción.

En los efluentes se pueden encontrar sales, almidón, peróxidos, enzimas, colorantes, metales y otros compuestos orgánicos de variada estructura, que provienen de las distintas etapas del proceso global.

En general, las corrientes de agua de descarga provienen principalmente del desengomado (15 %), descruce y mercerizado (20 %) y del blanqueo, teñido y lavado (65 %). El mayor aporte de la carga orgánica proviene de la etapa del desengomado que aporta alrededor de 50 % del total de la DBO.

Los procesos de la industria textil no liberan grandes cantidades de metales; sin embargo, aun las pequeñas concentraciones involucradas pueden producir acumulación en los tejidos de animales acuáticos.

Los colorantes textiles tienen gran persistencia en el ambiente, y los métodos de eliminación clásicos no son útiles debido a que oxidaciones o reducciones parciales pueden generar productos secundarios tóxicos.

Una gran proporción de los colorantes no son directamente tóxicos para los organismos vivos; sin embargo, la fuerte coloración que imparten a los medios de descarga puede llegar a suprimir los procesos fotosintéticos, por lo que su presencia debe ser controlada.

En general, las moléculas de los colorantes utilizados en la actualidad son de estructuras muy variadas y complejas.

La mayoría de ellos son de origen sintético, muy solubles en agua, altamente resistentes a la acción de agentes químicos y poco biodegradables. (GUAMÁN, 2012)

2.8 Tratamiento convencional de aguas

En el tratamiento convencional de las aguas residuales se llevan a cabo los siguientes procedimientos:

2.8.1 Pretratamiento. Consiste en la eliminación de los objetos gruesos, arenas y grasas y se lleva a cabo mediante procedimientos físicos. Este pretratamiento es fundamental porque si los materiales que llegan a la planta de tratamiento no son eliminados eficazmente, pueden producir serias averías en los equipos. Las piedras, arena, latas, entre otros, producen un gran desgaste de las tuberías y conductos así como de las bombas. A la planta también llegan aceites y grasas de todo tipo que, si no son eliminados en el pretratamiento, provocará la ralentización del tratamiento biológico y disminuirá el rendimiento de dicho tratamiento, obteniendo un efluente de baja calidad.

Así, en el pretratamiento se suelen llevar a cabo cinco actuaciones:

- a) *Separación de grandes sólidos*: Si se prevé la existencia de sólidos de gran tamaño o de una gran cantidad de arenas en el agua residual, se debe incluir en la cabecera un sistema de separación de estos grandes sólidos, de modo que concentre los sólidos y las arenas decantadas en una zona específica donde se puedan extraer eficazmente. Estos grandes sólidos dificultan la llegada del agua residual al resto de la planta por lo que deben ser retirados con frecuencia. Además es importante limpiar el fondo del pozo para que no se produzcan procesos anaerobios y, en consecuencia, malos olores.
- b) *Desbaste*: Consiste en hacer pasar el agua residual a través de una reja y se realiza para la eliminación de gruesos, trapos, compresas. Puede realizarse Desbaste Grueso (a través de reja gruesa) y desbaste fino (a través de reja fina).
- c) *Tamizado*: Es una filtración sobre soporte delgado.
- d) *Desarenado*: en este caso se eliminarán las partículas de granulometría superior a 200 micras, evitando que se produzcan sedimentos en los canales y conductos, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión.
- e) *Desengrasado*: Este paso tiene como fin eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua. Para llevarlo a cabo se insufla aire para desmenuar las grasas y mejorar la flotabilidad.

2.8.2 Tratamiento primario. Se trata de unos procesos físico-químicos (en el que intervienen la coagulación y la floculación). Se lleva a cabo una decantación física natural para la eliminación de sólidos en suspensión y una flotación natural de las partículas menos densas que no hayan podido eliminarse en el pretratamiento. Este proceso es conocido como decantación primaria. Los sólidos se depositan en el fondo mientras que las partículas se retiran mediante rasquetas giratorias en la superficie. El agua decantada se vierte en un canal que la conduce y deposita hacia el tratamiento biológico.

Fig. 1. Flóculos en superficie



Fuente: <http://4.bp.blogspot.com/-XtdkkTDA9V4/UFcOHdKjqCI/AAAAAAAAAX0/rcnpTOnpg6c/s1600/Depuradora+6.jpg>

2.8.3 *Tratamiento secundario.* Se denomina también tratamiento biológico dado que su finalidad es reducir la fracción orgánica de las aguas residuales empleando para ello microorganismos. Así, el agua tras pasar por el tratamiento primario se lleva a unos tanques en los que continuamente se está aireando/oxigenando y que contienen microorganismos aerobios. En este proceso el fango se deposita en el fondo y el agua depurada se evacua al río o se somete a un tratamiento terciario.

Fig.2.Tratamiento secundario



Fuente: http://2.bp.blogspot.com/-wyXiui_uyu8/UFcR_q7YmeI/AAAAAAAAAYM/262kO8HD4IE/s1600/Depurado+ra+8.jpg

2.8.4 *Tratamiento terciario.* Son una serie de tratamientos físico-químicos destinados a mejorar algunas características del agua efluente de la depuradora para su posterior uso. Así hay diversos tratamientos según el objetivo, pero el más habitual es el de la higienización, destinado a eliminar la presencia de virus y gérmenes del agua.

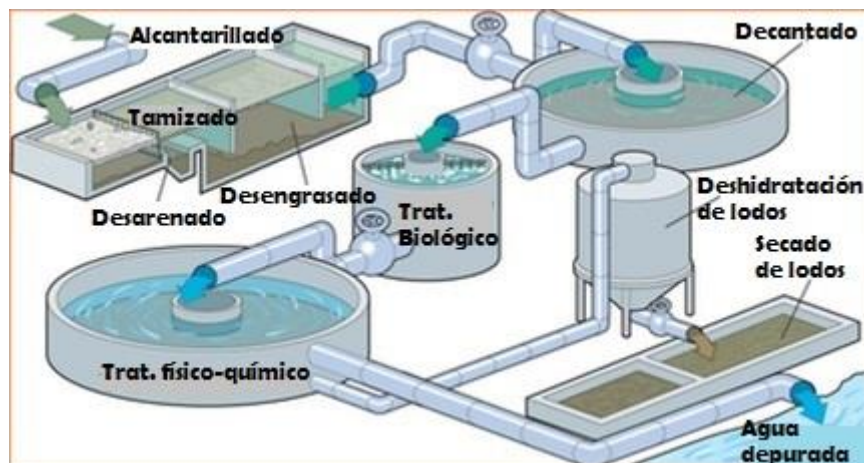
Fig. 3.Tratamiento terciario



Fuente: <http://4.bp.blogspot.com/-espEz6cYA-k/UFcSCQZjyDI/AAAAAAAAAYU/MEMAXbNRF2A/s1600/Depuradora+9.jpg>

2.8.5 Línea de fangos. Consiste en el tratamiento de los lodos derivados de la decantación secundaria. Cabe destacar que los lodos de depuración tienen su propia legislación, basada principalmente en su contenido de metales pesados. En muchos casos los fangos son tratados como residuos sólidos urbanos pudiendo llevarse a vertederos o incineradoras. Sin embargo, lo más adecuado es el uso de esta materia para la generación de compost, de modo que sea aprovechado como abono para agricultura. Resumiendo, el proceso de depuración de aguas puede explicarse de forma sencilla a través del siguiente esquema:

Fig. 4. Proceso de depuración de aguas



Fuente: <http://2.bp.blogspot.com/-qLkkjUvWrGE/UFcNtUqpV1I/AAAAAAAAAXs/zbi9sp9TZw4/s1600/Esquema+Depuraci%25C3%25B3n.png>

2.9 Tratamiento de aguas mediante electrocoagulación

La electrocoagulación es un método alternativo para la depuración de aguas residuales. Consiste en un proceso de desestabilización de los contaminantes del agua ya estén en suspensión, emulsionados o disueltos, mediante la acción de corriente eléctrica directa con un determinado voltaje y por la acción de electrodos metálicos, normalmente aluminio/hierro. Se trata de un equipo compacto que opera en continuo, mediante una celda de especial diseño donde se hallan los electrodos metálicos para producir la electrocoagulación. En este proceso se genera una elevada carga de cationes que desestabilizan los contaminantes del agua residual, se forman hidróxidos complejos, estos tienen capacidad de adsorción produciendo agregados (flóculos) con los contaminantes. De otro lado, por la acción del gas formado se genera turbulencia y se empuja hacia la superficie los flóculos producidos.

Ventajas: Son muchas las ventajas de la electrocoagulación. Entre las más relevantes están:

- Los costos de operación son menores comparativamente con los de procesos convencionales usando polímeros.
- Requiere de equipos simples y de fácil operación.
- Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos.
- Genera lodos más compactos y en menor cantidad, lo que involucra menor problema en la disposición de estos lodos.
- Produce flóculos más grandes que aquellos formados en la coagulación química y contienen menos agua ligada.
- Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes.
- Purifica el agua y permite su reciclaje.
- El paso de la corriente eléctrica favorece el movimiento de las partículas de contaminante más pequeñas, incrementando la coagulación.
- Reduce la contaminación en los cuerpos de agua.

- El agua tratada por electrocoagulación contiene menor cantidad de sólidos disueltos que aquellas tratadas con productos químicos, situación que disminuye los costos de tratamiento de estos efluentes en el caso de ser reusados.
- Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras.
- Los contaminantes son arrastrados por las burbujas a la superficie del agua tratada, donde pueden ser removidos con mayor facilidad.

Desventajas: Las principales desventajas del proceso de electrocoagulación son:

- Es necesario reponer los electrodos.
- Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo utilizado.
- Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
- El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso. (RESTREPO, 2008)

2.9.1 Reacciones en el proceso electroquímico. La conductividad de una disolución electrolítica consiste en un transporte de carga eléctrica por los iones existentes en la disolución, que equivale al transporte de electrones desde el electrodo negativo hasta el positivo.

Por consiguiente el número de electrones tomados por el catión en el electrodo negativo, ha de ser igual al de los electrones depositados simultáneamente por el anión en el electrodo positivo.

Es decir en el electrodo donde los aniones depositan los electrones se denomina ánodo (+), aquí se produce una reacción química de oxidación o sea ganancia de electrones, ec. (1) y (2).

Al electrodo donde los cationes captan los electrones se denomina cátodo (-), se produce una reacción química de reducción o sea una pérdida de electrones, ec. (3) y (4).

En el ánodo:





En el cátodo:



En un proceso electroquímico se producen simultáneamente 6 reacciones básicas entre dos electrodos y la solución electrolítica.

- *Oxidación:* Se proporcionan electrones al ánodo para oxidar las impurezas presentes en la solución.
- *Reducción:* Se captan electrones por el cátodo para reducir las impurezas (el negativo reduce)
- *Electroforesis:* Los iones con carga positiva se mueven del ánodo al cátodo; mientras que los iones con carga negativa se mueven desde el cátodo al ánodo.
- *Ataque electroquímico:* Si el ánodo está hecho de un metal barato, el ánodo se somete a una ionización de modo de oxidación para liberar cationes.
- *Electrolisis:* El agua se gasifica, se descompone en hidrogeno y oxígeno.
- *Polarización:* Las moléculas y las impurezas del agua se polarizan en respuesta a la aplicación del campo eléctrico, de forma que los iones con carga negativa se acumulan en el ánodo y los de carga positiva en el cátodo.

2.9.2 Primera ley de Faraday. La cantidad de electrolito descompuesto en una cuba electrolítica es directamente proporcional a la cantidad de electricidad que circula través de dicha disolución.

$$\begin{aligned} M &= E_{\text{eq}} \cdot Q \\ Q &= I \cdot t \\ M &= E_{\text{eq}} \cdot I \cdot t \end{aligned} \quad (5)$$

M: Es la cantidad de electrolito descompuesto

E_{eq}: Equivalente electroquímico de la sustancia electrolítica

Q: Cantidad de electricidad en Culombios

t: Tiempo de conducción

I: Intensidad de corriente en amperios

1 coulomb= 1A.s (un amperio por segundo)

2.9.3 Segunda ley de Faraday. Cuando circula la misma cantidad de electricidad por varias cubas electrolíticas, las cantidades de los electrolitos descompuestos son directamente proporcionales a los equivalentes químicos de cada uno de dichos electrolitos.

$$\frac{m_A}{E_{qA}} = \frac{m_B}{E_{qB}} = \frac{m_C}{E_{qC}} = k_2 \cdot E_q \cdot Q$$
$$m = \frac{1}{F} E_q Q \quad (6)$$

La cantidad de corriente que debe circular por la cuba electrolítica para que en los electrodos se deposite o desprenda un equivalente químico de cualquier sustancia es constante e igual a 96480 culombios, denominándose a éste como Faraday.

Por tanto $1F \approx 96500$ Coulomb.

Puesto que las sustancias que reaccionan en los electrodos son iones, el equivalente químico será igual a un mol de sustancia dividido para el número de cargas del ion correspondiente.

$$E_q = \frac{Pa}{val} \quad (7)$$

Partiendo de que 1 Faraday es la cantidad de electricidad que contiene 1 mol de electrones el equivalente electroquímico es:

$$E_{eq} = \frac{E_q}{F} \quad (8)$$

Entonces:

$$m = \frac{1}{F} E_q Q$$
$$m = I \cdot t \cdot E_{eq}$$

Dónde:

m= masa depositada o desprendida en cada electrodo (gramos)

I= intensidad de la corriente aplicada (amperios)

t= tiempo de actuación de la corriente (segundos)

E_{eq} = equivalente electroquímico

F= Faraday (96480 culombios)

2.9.4 Ley de Ohm. La ley de Ohm se define como la intensidad que circula entre dos puntos de un circuito eléctrico y es proporcional a la tensión eléctrica entre dichos puntos. La intensidad de corriente que circula por un circuito dado, es directamente proporcional a la tensión aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo. Cabe recordar que esta ley es una propiedad específica de ciertos materiales y no es una ley general.

$$I = \frac{V(\text{Voltios})}{R(\text{Ohmios})} \quad (9)$$

I= intensidad de corriente

V= voltaje

R= resistencia

2.9.5 Factores que influyen en el tratamiento de agua mediante electrocoagulación. Son varios los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación y algunos de estos factores tienen una mayor influencia sobre el proceso. A continuación se enuncian aquellos que se relacionan más directamente con la efectividad del mismo.

pH.- El pH influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal para formar hidróxido¹⁴. Se ha observado en diferentes investigaciones que el pH varía durante el proceso de electrocoagulación, y esta variación es dependiente del material de los electrodos y del pH inicial del agua a tratar.

El pH durante el proceso puede incrementarse para aguas residuales ácidas, efecto atribuido a la generación de hidrógeno molecular que se origina en el cátodo. En contraposición, en aguas residuales alcalinas el pH puede decrecer y, dependiendo de la naturaleza del contaminante, el pH influye sobre la eficiencia del proceso.

Temperatura.- Los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación no han sido muy investigados, pero se ha encontrado que la eficiencia en la corriente se incrementa inicialmente hasta llegar a 60° C, punto donde se hace máxima para luego decrecer. El

incremento de la eficiencia con la temperatura es atribuida al incremento en la actividad de destrucción de la película de óxido de aluminio de la superficie del electrodo.

Conductividad.- Un incremento en la conductividad eléctrica genera a su vez un incremento en la densidad de corriente, véase ec. (10). Cuando se mantiene constante el voltaje alimentado a la celda de electrocoagulación y adicionalmente el incremento de la conductividad, manteniendo la densidad de corriente constante, se produce una disminución del voltaje aplicado.

La adición de algunos electrólitos tales como NaCl o CaCl₂ genera un aumento en la conductividad del agua residual. La conductividad de una solución de electrolito es una medida de su capacidad para conducir la electricidad. La unidad SI de conductividad es el siemens por metro (S/m).

Las medidas de conductividad se utilizan de forma rutinaria en muchas aplicaciones industriales y medioambientales como un modo rápido, barato y fiable de medir el contenido iónico en una solución. En muchos casos, la conductividad está directamente vinculada a la cantidad de sólidos totales disueltos (TDS).

El agua desionizada de alta calidad tiene una conductividad de 5,5 µS/m, o 0,055 µS/cm el agua potable típica en el rango de 5-50 mS/m, o sea de 50 – 500 µS/cm mientras que el agua de mar cerca de 5 S/m. o sea 50000 µS/cm (es decir, la conductividad del agua de mar es un millón de veces mayor que el agua des ionizada).

$$G = \frac{1}{R} (\text{Siemens})$$

$$G = K \frac{A(m^2)}{l(m)} (\text{Siemens}) \quad (10)$$

Dónde:

K: conductividad específica del agua a tratar, es el inverso de la resistividad en micro siemens por cm.

Equivalente químico.- Es la relación entre el peso o masa atómica y la valencia.

$$E_q = \frac{Pa}{val} \quad (11)$$

E_q = Equivalente químico

Val= valencia

Equivalente electroquímico.- Equivalente electroquímico es la cantidad de sustancia que se deposita o se desprende en una célula electrolítica al paso de 1 culombio de electricidad. El equivalente electroquímico es igual al equivalente químico dividido para 1 faradio.

$$E_{eq} = \frac{E_q}{F} = \frac{\frac{P_a}{val}}{96500} = \frac{P_a}{val \cdot 96500} \quad (12)$$

E_{eq} = Equivalente electroquímico

E_q = Equivalente químico

P_a = Peso atómico

Val= Valencia

F=1 faradio = 96.500 culombios

Resistencia del material.- La resistencia del material es igual a la resistividad por la distancia entre las placas, dividido para el área de las placas que vayan a estar trabajando directamente.

$$R = \rho \frac{l(m)}{A(m^2)} \quad (13)$$

ρ : es la resistividad

l : es la distancia entre placas

A : es el área de las placas

La corriente en el electrocuagulador.- Es la cantidad de corriente que necesita la celda al tener varias placas trabajando, de ser el caso.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V \cdot 1}{R} = V \cdot G = V \cdot K \frac{A}{l} \quad (14)$$

Potencia óhmica.-Esta es la potencia que va a necesitar el electrocuagulador teniendo en cuenta la resistencia del agua tratar.

$$P_o = \frac{V^2}{R} = \frac{V^2 \cdot 1}{R} = V^2 \cdot G = V^2 \cdot K \frac{A}{l} \quad (15)$$

Potencia total consumida.- Si por el electrocuagulador circula una intensidad media de corriente I_m , sometida a una diferencia de potencial media V_m , la potencia total consumida es:

$$P_T = P_o + P_c = I_m \cdot V_m$$

Dónde:

P_T : Potencia total requerida

P_o : Potencia óhmica

P_c : Potencia consumida por el electrocuagulador

I_m : Intensidad media

V_m : Diferencia de potencial media

Despejando P_c se tiene:

$$P_c = P_t - P_o = I_m \cdot V_m - \frac{V_m^2}{R} = V_m \left(I_m - \frac{V_m}{\frac{1}{K} \cdot \frac{l}{A}} \right) = V_m \left(I_m - K \frac{A}{l} V_m \right)$$

Cantidad de metal disuelto o depositado.- La cantidad de metal disuelto o depositado depende de la cantidad de electricidad que pasa través de los electrodos, (en amperios por centímetro cuadrado A/cm^2) y la cantidad de sustancia disuelta del metal (en gramos de metal por centímetro cuadrado g/cm^2), aplicando la ley de Faraday.

$$m = \frac{1}{F} I \cdot t \cdot E_q$$

$$m = \frac{I \cdot t \cdot P_a}{val \cdot F} \quad (16)$$

Dónde:

m : es la cantidad de material depositado o cedido

I : es la densidad de corriente en amperios por cm^2

t : es el tiempo en segundos

P_a : masa (o peso) molar del material del electrodo

val : es la valencia (número de electrones en la reacción oxidación/reducción)

F : es la constante de Faraday igual a 96500 coulomb/mol

Potencial de la celda de electrocoagulación.- El potencial aplicado es la suma de tres componentes.

$$\eta_{AP} = \eta_k + \eta_{Mt} + \eta_{IR} \quad (17)$$

Dónde:

η_{AP} : Sobre potencial aplicado

η_k : Sobre potencial cinético

η_{Mt} : Sobre potencial de concentración

η_{IR} : Sobre potencial causado por la resistencia de la solución.

La caída de la resistencia está relacionada con la distancia d en cm entre electrodos, área superficial en cm^2 , del cátodo y la conductividad específica de la solución (k en mS/cm) y la corriente I en Amperios.

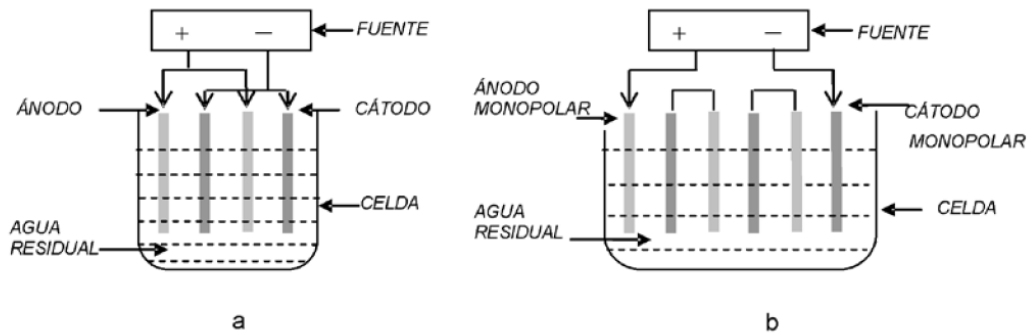
$$\eta_{I.R} = \frac{I \cdot d}{A \cdot k}$$

Este sobre potencial puede ser fácilmente minimizado decreciendo la distancia entre electrodos e incrementando el área de sección transversal de los electrodos y la conductividad específica de la solución.

El sobre potencial cinético también llamado potencial de activación es causado por la barrera de la energía de activación a las reacciones de transferencia de electrones. El sobre potencial de activación es particularmente alto por la generación de gases en los electrodos, este incrementa al aumentar la corriente. (HERNÁNDEZ, 2003 págs. 111-123).

2.9.6 Tipos electrodos requeridos. Se ha observado que cuando en el reactor se usan dos placas, una como ánodo y otra como cátodo, no se presenta una buena disolución de iones metálicos. Para mejorar esta disolución se debe aumentar el área superficial de los electrodos, lo cual se logra aumentando el número de placas, disponiéndolas en serie en forma paralela monopolar o bipolar.

Fig. 5. Reactores tipo Bach



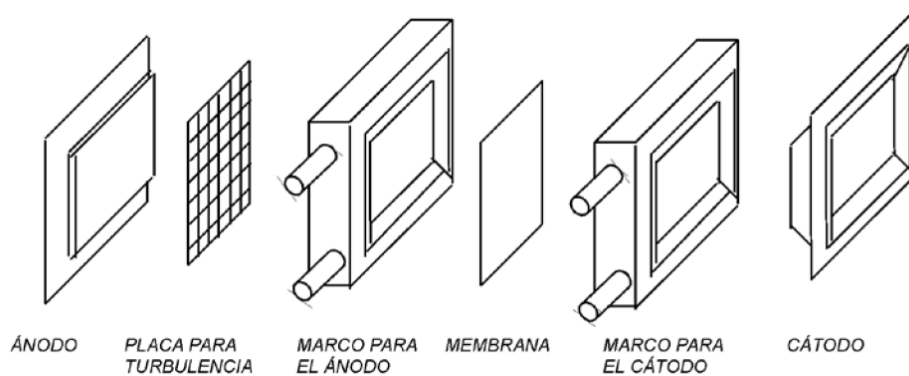
(a) Reactor con electrodos monopolares conectados en paralelo,

(b) Reactor con electrodos monopolares conectados en serie.

Fuente: RESTREPO, 2008, pág. 69.

Existen otros tipos de reactores para la electrocoagulación. Uno de ellos es el tipo filtro prensa, constituido por un par de marcos. Uno de ellos soporta el ánodo y el otro el cátodo en forma de placas, de manera que su acople forma una cámara sencilla. El agua a ser tratada entra por la parte lateral a la cámara y es inducida a flujo turbulento, para incrementar la eficiencia del proceso durante el tratamiento. Este sistema hace que su operación y mantenimiento sean sencillos y fáciles de realizar.

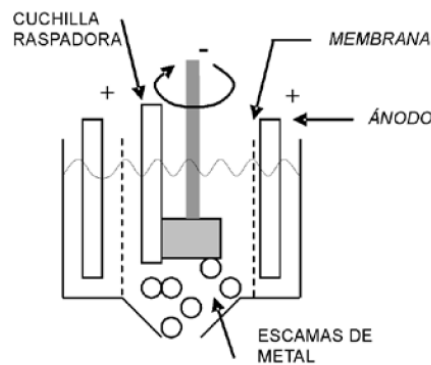
Fig. 6. Reactor tipo filtro



Fuente: RESTREPO, 2008, pág. 69.

Para la remoción de metales que se encuentran diluidos en el agua, se usa el reactor de electrodo cilíndrico rotativo, en el cual el cátodo gira en el centro de la celda y el ánodo se encuentra fijo.

Fig. 7.Reactor de cilindro rotativo



Fuente: RESTREPO, 2008, pág. 70.

Esta disposición permite aumentar la transferencia de masa en los electrodos y remover partículas de metal del cátodo. Finalmente, también es usado para la remoción de metales el reactor de lecho fluidizado.

Éste permite aumentar el área específica superficial, mejorando la eficiencia del proceso. (RESTREPO, 2008 págs. 68-70)

2.10 Sedimentación

Definimos como sedimentación al proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en estado de suspensión, son removidas por la acción de la gravedad.

Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro. Éstos son:

- Suspensiones hasta diámetros de 10^{-4} cm.
- Coloides entre 10^{-4} y 10^{-6} cm.
- Soluciones para diámetros aún menores de 10^{-6} cm.

Estos tres estados de dispersión dan igual lugar a tres procedimientos distintos para eliminar las impurezas.

- El primero destinado a eliminar las de diámetros mayores de 10^{-4} cm. Constituye la sedimentación simple.

- El segundo implica la aglutinación de los coloides para su remoción a fin de formar un floculo que pueda sedimentar.
- Finalmente, el tercer proceso, que esencialmente consiste en transformar en insolubles los compuestos solubles, aglutinarlos para formar el floculo y permitir así la sedimentación.

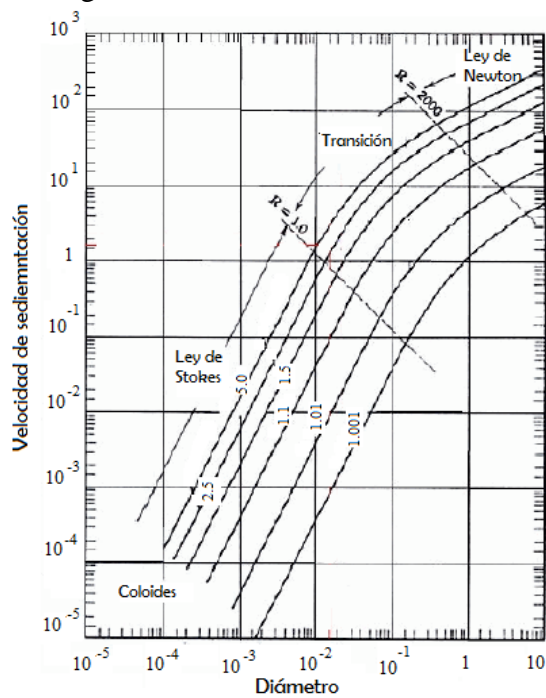
Es decir que en muchos casos, las impurezas pueden ser, al menos en teoría removidas mediante el proceso de sedimentación.

2.10.1 Tipos de sedimentadores. Entre los sedimentadores más comunes tenemos los siguientes:

2.10.1.1 Sedimentador estático. El sedimentador tiene por objeto separar del agua cruda partículas inferiores muy pequeñas, es decir que nos encontramos en régimen laminar, tal y como se refleja en la fig. 9 y está gobernado por la ley de Stokes.

$$V_s = \frac{1}{18} \cdot g \cdot \left(\frac{\rho_s - 1}{n} \right) \cdot d^2 \quad (17)$$

Fig.8. Velocidad de sedimentación

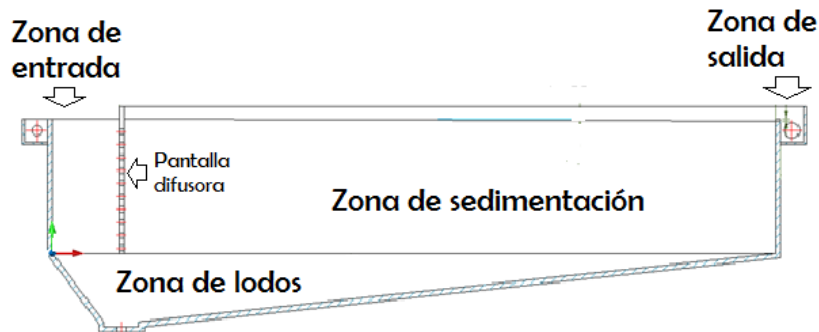


Fuente: PARDO, 2009, pág. 44.

Mediante la figura podemos saber la velocidad de sedimentación si conocemos el diámetro de las partículas más finas que queremos que no pasen.

Un sedimentador consta de las siguientes partes:

Fig. 9.Sedimentador convencional



Fuente: PARDO, 2009, pág. 45.

- Zona de entrada: Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.
- Zona de sedimentación: Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos.
- Zona de salida: Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.
- Zona de recolección de lodos: Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.

Cálculo del sedimentador

Como datos de inicio debemos conocer:

- Caudal necesario.
- Calidad fisicoquímica del agua.
- Deberá cumplir las relaciones:

$$3 < \frac{L}{B} < 6$$

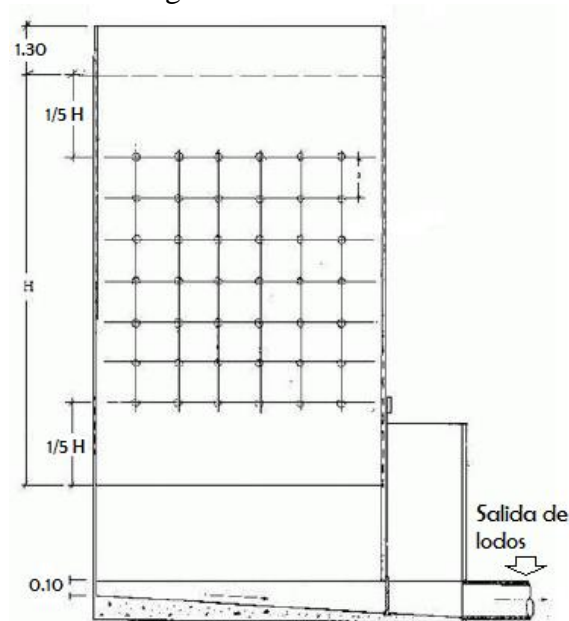
$$5 < \frac{L}{H} < 20$$

$$\frac{L}{H} = \frac{V_H}{V_S}$$

Dónde: L = largo, B = ancho, H = altura, V_H = Velocidad horizontal, V_S = velocidad de sedimentación.

- El tiempo de retención será entre 2 - 6 horas.
- La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada.
- Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 o 1/5 de la altura (H) a partir de la superficie del fondo.

Fig. 10. Pantalla difusora



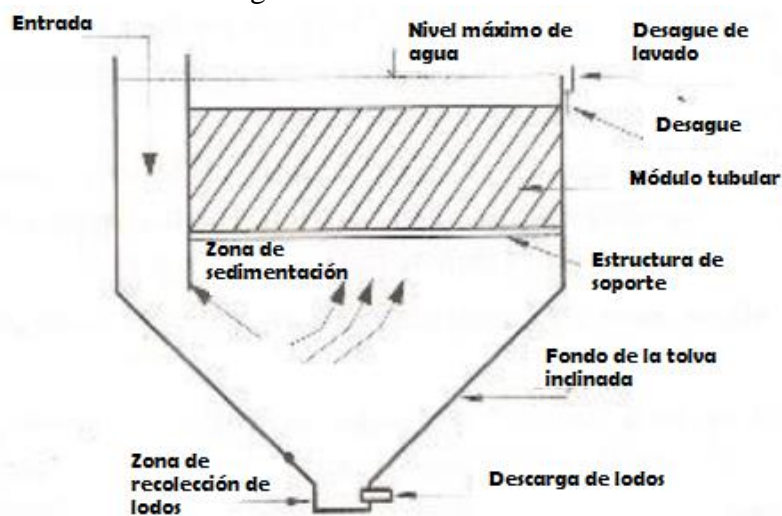
Fuente: PARDO, 2009 pág. 45.

2.10.1.2 Sedimentadores de alta tasa. Como una mejora al sistema de sedimentación, se recomienda el uso de un sedimentador de alta tasa para mejorar el retiro de lodos desde el sistema, el cual será situado previo a la entrada de los sedimentadores rectangulares. Este equipo no es necesario para el cumplimiento en la eficiencia de remoción de sólidos, sino que es sólo una ayuda para mejorar el sistema de retiro de lodos, por lo que puede ser eliminado o detenido temporalmente sin afectar la eficiencia de los sedimentadores.

Se propone su construcción y operación cuando se alcance la máxima producción proyectada, debido a que este equipo, para cumplir con el objetivo propuesto de forma eficiente, debe ser adecuado a las condiciones reales de operación.

El funcionamiento de este sedimentador se basa en canalizar la corriente de agua, de la que se deben separar las partículas en suspensión, hacia un volumen estrechamente limitado por una serie de superficies de sedimentación muy próximas (algunos centímetros). Estas superficies se disponen de forma que exista una pendiente suficiente para su autopurgado, es decir, al sedimentar las partículas en la pared inferior del tubo aún poseen la capacidad de seguir “cayendo” y se produce una aglomeración de partículas, con ello los sólidos depositados tienen la tendencia a resbalar por la pared del tubo, formando una corriente de mayor densidad que sale por la parte inferior del tubo hacia un área donde los sólidos son colectados y retirados en forma mecanizada.

Fig. 11. Sedimentador de alta tasa



Fuente: PARDO, 2009, pág. 47.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA MUNDOCOLOR

3.1 Información general de la empresa

La empresa Mundo Color se dedica a la prestación de servicios de lavado y tinturado de jeans, por lo que sus procesos generan algunos aspectos e impactos ambientales, a continuación se va a realizar un estudio de todo lo referente a las actividades que realiza la empresa y su situación actual.

3.1.1 Identificación de la empresa. Acabados y servicios Mundo Color, es una empresa comprometida con el desarrollo de la provincia de Tungurahua, el bienestar de sus trabajadores y la preservación del medio ambiente, en la misma se procesan entre 800 a 1000 prendas de vestir al día. Se puede definir como una empresa de acabado de productos textiles no producidos en la misma unidad de producción.

Tabla 3. Áreas de la empresa

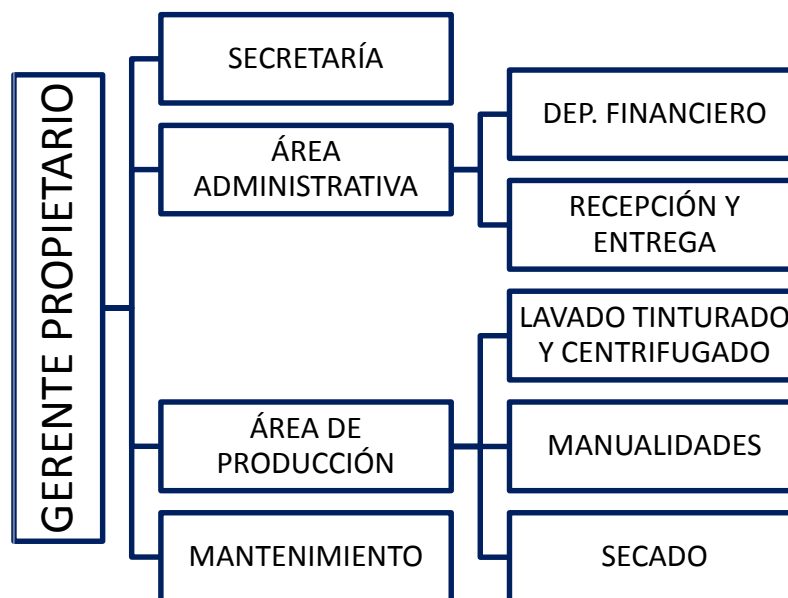
Áreas de la empresa Mundo Color	
Sectores	Área (m ²)
1. Área de combustibles	6,73
2. Garita	12,52
3. Área administrativa	80,64
3.1. Gerencia	17,37
3.2. Secretaria	14,49
3.3. Contabilidad	14,58
3.4. Muestrario	16,05
4. Baño 1	18,15
5. Áreas compartidas	29,74
6. Área de recepción y entrega	75,75
	1 de 2

7.-Área de parqueo	161,83
8.-Área de recepción 2	33,84
9.-Área de pesaje y dosificación	9,98
10.-Área de productos químicos	26,7
11.-Área de producción	283,37
12.-Bodega de productos químicos 2	3,42
13.-Baño 2	3,42
14.-Área de acabados	83,37
	2 de 2

Fuente: GUAMÁN, 2012

3.1.2 Estructura administrativa. En cuanto a la estructura administrativa es importante mencionar que al ser la empresa de tipo artesanal su estructura organizativa no es tan compleja ya que el gerente es el propietario y cuenta con apenas 14 trabajadores.

Fig. 12.Estructura administrativa



Fuente: Autores

3.1.3 Política ambiental. Acabados y Servicios Mundo Color, industria encargada de lavar y teñir prendas de vestir, principalmente jeans, se compromete a brindar a sus trabajadores, contratistas, clientes, visitantes y personas de áreas aledañas el mayor cuidado en cuanto a sus actividades considerando el impacto que éstas pueden acarrear en el medio ambiente. Deseando minimizar dichos impactos se compromete a:

- Prevenir, reducir y controlar la contaminación que sus procesos ocasionan al medio ambiente.
- Crear, implementar y mantener un sistema de gestión que le permita disminuir la contaminación ambiental.
- Promover la mejora continua de un sistema de gestión ambiental, teniendo como referencia la identificación de riesgos, la prevención de la contaminación y el control de su desempeño ambiental.
- Cumplir los requisitos legales aplicables a su operación y otros a los cuales se suscriba.
- Proveer de los recursos necesarios para cumplir esta política, así como los objetivos y metas ambientales que de ella se desprendan.
- Prevenir la contaminación en los recursos de aire, agua y suelo a través del control de emisiones y disposición de desperdicios.
- Impulsar entre sus trabajadores el ahorro de recursos, especialmente los no renovables, siendo más eficientes en su manipulación y promoviendo el mejoramiento de sus procesos de manera tal que sea económicamente viable para la empresa.
- Difundir adecuadamente esta política entre los trabajadores de su empresa concienciándolos de su importancia y entre los agentes externos que mantengan relación con ella y la sociedad en general.
- Capacitar permanentemente a sus trabajadores para garantizar el conocimiento claro de los aspectos e impactos que intervienen en el proceso.
- Todo el personal que labora en ACABADOS Y SERVICIOS MUNDO COLOR, es responsable del cumplimiento de esta política, la cual es entendida y aplicada en todas las áreas de la empresa, encontrándose disponible para todas las partes interesadas. (GUAMÁN, 2012)

3.1.4 Misión y visión de la empresa

Misión.- Ser una empresa innovadora y efectiva, dedicada a la prestación de servicios de lavado y tinturado de jeans, con la mejor tecnología, garantizando calidad, a nuestros clientes así como también, buscan la superación personal e intelectual de nuestro recurso humano para lograr su estabilidad y crecimiento.

Visión.- Liderar el mercado nacional, estableciendo políticas de mejoramiento continuo en cada uno de los procesos de lavado y tinturado de jeans para mitigar las amenazas de la globalización y mantener la fidelidad de nuestros clientes, convirtiéndonos cada día en la mejor alternativa textil, contribuyendo de esta manera al crecimiento del mercado de lavado de jeans.

3.2 Diagramas de aspectos e impactos ambientales

Tabla 4. Diagrama de aspectos e impactos del proceso de tinturado directo

Aspectos	Actividades del proceso	Impactos
Prendas en color base o índigo pesadas, transporte.	Recepción de la materia prima	Polvo de transporte vehicular, aire contaminado, pelusas, residuos de hilos, material particulado
Enzima alfaamilaza, humectante, lubricante, antiq uebrante, detergente, regulador de PH 6 ácido, agua caliente 60°C.	Desengomado	Agua contaminada caliente a 30°
Agua fría	Enjuague	Agua con químicos, residuos de goma, residuo de aceites y grasas, surfactantes o tensoactivos, variación de PH, DBO5.
Sosa caustica, hidróxido de sodio, detergente, estabilizador de peróxido, humectante de peróxido, agua caliente a 80°C.	Descrude	Agua contaminada, oxígeno DQO, gases tóxicos
Igualante , secuestrante , colorante, sal carbonato de sodio, hidróxido de sodio.	Teñido	Agua contaminada, agua tinturada, residuos químicos, metales pesados, variación del pH.
Detergente, dispersante, regulador PHácido.	Detergenteado	Contaminación del aire, gases tóxicos.

		1 de 2
Acido fórmico, fijador dieflex, regulador de PH alcalino o acido polímeros o acéticos, agua caliente a 70°C.	Fijación de color	Contaminación del aire, gases tóxicos.
Suavizante no iónico y cationico, regulador de PH5, agua caliente a 40°C	Suavizado	Gases toxicos, residuos líquidos de suavizante y variación de pH.
Energía, aire	Centrifugado	Residuos líquidos con suavizantes.
Energía térmica	Secado	Pelusas, algodón, gases de combustión, vapor de agua.
		2 de 2

Fuente: Autores

Tabla 5. Diagrama de aspectos e impactos del proceso de tinturado reactivo

Aspectos	Actividades del proceso	Impactos
Prendas en color base o índigo pesados.	Recepción de la materia prima	Polvo de transporte vehicular, aire contaminado, pelusas, residuos de hilos, material particulado.
Enzima alfaamilaza, humectante, lubricante, antiqiebrante, detergente, regulador de PH 6 ácido, agua caliente 60°C.	Desengomado	Agua contaminada caliente a 30°
Agua fría.	Enjuague	Residuos de goma, residuo de aceites y grasas, surfactantes o tensoactivos, variación de PH, DBO5.
Piedra pómez, enzima acida, acido fórmico, agua caliente a 70°.	Raspado	Agua contaminada, oxígeno DQO, gases tóxicos.
Agua caliente a 60°C, Bisulfito de sodio, acido oxálico, detergente.	Neutralizado	Contaminación del aire, gases tóxicos.
Igualante , Secuestrante , colorante, sal carbonato de sodio, hidróxido de sodio, agua caliente a 90°C	Teñido	Igualante, secuestrante, colorante, sal carbonato de sodio, hidróxido de sodio, variación de PH.
Detergente, dispersante, regulador PH5 acido, agua caliente a 70°C	Detergenteado	Contaminación del aire, gases tóxicos.
Fijación de color	Fijación de color	Gases tóxicos, contaminación del aire.

Suavizante no iónico y catiónico, regulador de PH5, agua caliente a 40°C	Suavizado	Contaminación del aire, gases de PH.
		1 de 2
Energía, aire	Centrifugado	Residuos líquidos con suavizantes, agua, sólidos suspendidos.
Energía térmica	Secado	Pelusas, algodón, gases de combustión, vapor de agua
		2 de 2

Fuente: Autores

Tabla 6. Diagrama de aspectos e impactos del proceso sulfuroso

Aspectos	Actividades del proceso	Impactos
Prendas en color base o índigo pesados, transporte.	Recepción de la materia prima	Polvo de transporte vehicular, aire contaminado, pelusas, residuos de hilos, material particulado
Enzima alfamilaza, humectante, lubricante, antiebrante, detergente, regulador de PH 6 ácido, agua caliente 60°C.	Desengomado	Agua contaminada caliente a 30°
Agua fría	Enjuague	Surfactantes o tensoactivos, variación de PH, aumento de DBO5.
Igualante, secuestrante, colorante, sal carbonato de sodio, sulfuro de sodio, sulfuros, regulador de pH 8-10 alcalino.	Teñido	Contaminación del aire, gases tóxicos.
Detergente, dispersante, regulador PH5 ácido, agua caliente a 70°C	Detergenteado	Contaminación del aire, gases tóxicos.
Acido fórmico, fijador dieflex, regulador de PH alcalino o ácido polímeros o acéticos, agua caliente a 70°C.	Fijación de color (opcional)	Contaminación del aire, gases tóxicos.
Suavizante no iónico y cationico, regulador de PH5, agua caliente a 40°C	Suavizado	Gases tóxicos, residuos líquidos de suavizante, conductividad y variación de PH.
Energía, aire	Secado	Pelusas, algodón, gases de combustión, vapor de agua

Fuente: Autores

Tabla 7. Diagrama de aspectos e impactos del proceso de tinturado manual

Aspectos	Actividades del proceso	Impactos
Prendas en color base o índigo pesados, transporte.	Recepción de la materia prima	Polvo de transporte vehicular, aire contaminado, pelusas, residuos de hilos.
Enzima alfamilaza, humectante, lubricante, antiq uebrante, detergente, regulador de PH 6 ácido.	Desengomado	Agua contaminada caliente a 30°
Agua fría	Enjuague	Desechos líquidos, residuos químicos, residuos sólidos, residuos de aceites y grasas.
Piedra pómez, enzima acida, acido fórmico, agua caliente a 70°	Stoneado	Agua contaminada, oxígeno DQO, gases tóxicos
Energía térmica	Secado	Pelusas, algodón, gases de combustión, Vapor de agua.
Permanganato de potasio	Proceso manual	Oxígeno DQO, gases tóxicos, sólidos suspendidos, residuos sólidos.
Agua caliente a 60°C, Bisulfito de sodio, acido sálico, detergente.	Neutralizado	Agua contaminada, oxígeno DQO, gases tóxicos
Igualante, secuestrante, colorante, sal carbonato de sodio, hidróxido de sodio.	Teñido	Contaminación del aire, gases tóxicos.
Detergente, dispersante, regulador PH5 acido, agua caliente a 70°C	Detergenteado	Contaminación del aire, gases tóxicos.
Acido fórmico, fijador dieflex, regulador de PH alcalino o acido polímeros o acéticos.	Fijación de color	Contaminación del aire, gases tóxicos.
Suavizante no iónico y cationico, regulador de PH5, agua caliente a 40°C	Suavizado	Contaminación del aire, gases tóxicos, residuos líquidos de suavizante, conductividad y variación de PH.
Energía térmica	Secado	Pelusas, algodón, gases de combustión, vapor de agua

Fuente: Autores

Tabla 8. Diagrama de aspectos e impactos del proceso de blanqueo

Aspectos	Actividades del proceso	Impactos
Prendas en color base o índigo pesados, transporte.	Recepción de la materia prima	Polvo de transporte vehicular, aire contaminado, pelusas, residuos de hilos, material particulado
Enzima alfaamilaza, humectante, lubricante, antiq uebrante, detergente, regulador de PH 6 ácido, agua caliente 60°C.	Desengomado	Agua contaminada caliente a 30°
Sosa caustica, hidróxido de sodio, detergente, estabilizador de peróxido, humectante de peróxido, agua caliente a 70°C	Enjuague	Residuos de goma y aceites, residuo de aceites y grasas, surfactantes o tensoactivos, variación de PH, aumento de DBO5.
Sosa caustica, hidróxido de sodio, detergente, estabilizador de peróxido.	Descrude	Agua contaminada, oxígeno DQO, gases tóxicos
Blanqueador óptico (blancofor neutro - azul), Sosa caustica, hidróxido de sodio, detergente, estabilizador de peróxido, humectante de peróxido, agua caliente a 90°C	Blanqueo	Agua contaminada, oxígeno DQO, gases tóxicos
Suavizante no iónico y cationico, regulador de PH5, agua caliente a 40°C	Suavizado	Contaminación del aire, gases tóxicos, residuos líquidos de suavizante, conductividad y variación de PH.
Energía, aire	Centrifugado	Residuos líquidos con suavizantes, agua, sólidos suspendidos.
Energía térmica	Secado	Pelusas, algodón, gases de combustión, vapor de agua

Fuente: Autores

3.3 Evaluación del impacto ambiental

Tabla 9. Evaluación del impacto ambiental 1

Componente			Actividades												
			Desengomado	Enjuague	Stoneado	Detergenteado	Tinturado directo	Tinturado reactivo	Tinturado sulfuroso	Tinturado manual	Fijación del color	Suavizado	Blanqueo	Centrifugado	Secado
ABIÓTICO	AGUA	TEMPERATURA	M-	NA	M-	M-	A-	A-	A-	NA	M-	B-	A-	B-	NA
		CONSUMO	M-	A-	M-	M-	M-	M-	M-	NA	M-	M-	M-	NA	NA
SOCIAL	ATMÓSFERA	SÓLIDOS TOTALES Y EN SUSPENSIÓN	A-	M-	A-	M-	M-	M-	M-	NA	M-	M-	M-	NA	NA
		RESIDUOS ORGÁNICOS	A-	M-	M-	A-	M-	M-	M-	NA	M-	M-	M-	B-	NA
		CONTAMINANTES QUÍMICOS	B-	B-	M-	M-	A-	A-	A-	NA	A-	M-	A-	NA	NA
	SUELO	EMISIONES GASEOSAS	B-	NA	B-	B-	B-	B-	B-	B-	B-	B-	B-	B-	M-
		RUIDO AMBIENTAL	B-	B-	B-	B-	B-	B-	B-	B-	B-	B-	B-	B-	M-
		VAPORES	B-	B-	B-	B-	M-	M-	M-	A-	A-	B-	M-	B-	M-
		MATERIAL PARTICULADO	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	M-	NA	NA	NA	B-	B-
		RUIDO INDUSTRIAL	M-	M-	M-	M-	M-	M-	M-	M-	M-	M-	M-	M-	M-
	SUELO	LODOS DE PROCESO	B-	B-	B-	B-	B-	M-	M-	NA	B-	B-	M-	NA	NA
		DESECHOS SOLID. (FUND, RECIPIENTES)	B-	NA	M-	B-	M-	A-	A-	A-	M-	B-	M-	NA	NA
		DERRAMES DE QUÍMICOS	NA	NA	NA	NA	M-	M-	M-	M-	M-	B-	M-	NA	NA
		DERRAMES DE AGUAS CONTAMINADAS	B-	B-	B-	B-	M-	M-	M-	M-	A-	B-	M-	B-	NA
	SOCIAL	GENERACIÓN DE EMPLEO	M+	M+	M+	M+	M+	M+	M+	M+	M+	M+	M+	M+	M+
CONSUMO ENERGÍA ELÉCTRICA		M-	M-	M-	M-	M-	M-	M-	NA	M-	M-	M-	M-	M-	
A FECTACIÓN A LOS TRABAJADORES		B-	B-	B-	B-	M-	M-	M-	A-	M-	B-	M-	B-	M-	

Fuente: GUAMÁN, 2012

Tabla 10. Evaluación del impacto ambiental 2

Actividades		Fac. Amb.															
		Desengomado	Enjuague	Stoneado	Detergenteado	Tinturado directo	Tinturado reactivo	Tinturado sulfuroso	Tinturado manual (esponjado)	Fijación del color	Suavizado	Blanqueo	Centrifugado	Secado	Total parcial		
COMPONENTE AMBIENTAL	AGUA	TEMPERATURA	6 -9	NA	6 -9	7 -9	9 -10	9 -10	8 -10	NA	8 -9	5 -6	9 -9	2 -3	NA	69 -84	
		CONSUMO	8 -10	10 -10	9 -10	9 -10	9 -10	9 -10	9 -10	NA	9 -10	9 -10	8 -10	2 -10	NA	91 -110	
		SÓLIDOS TOTALES Y EN SUSPENSIÓN	8 -6	5 -6	10 -10	6 -6	8 -9	8 -9	8 -9	NA	6 -8	3 -3	8 -9	3 -3	NA	73 -78	
		RESIDUOS ORGÁNICOS	9 -9	8 -8	9 -9	7 -9	5 -6	5 -6	5 -6	NA	6 -6	3 -6	5 -6	2 -3	NA	64 -74	
		CONTAMINANTES QUÍMICOS	8 -10	8 -10	9 -10	8 -10	8 -10	9 -10	10 -10	NA	9 -10	8 -10	9 -10	5 -10	NA	91 -110	
		EMISIONES GASEOSAS	6 -6	6 -6	6 -6	6 -6	6 -6	6 -6	6 -6	6 -6	6 -6	6 -6	6 -6	6 -6	6 -6	6 -6	78 -78
	ATMÓSFERA	RUIDO AMBIENTAL	4 -4	4 -4	4 -4	4 -4	4 -4	4 -4	4 -4	4 -4	4 -4	4 -4	4 -4	4 -4	4 -4	4 -4	52 -52
		VAPORES	2 -3	3 -2	2 -3	3 -3	5 -6	5 -6	6 -8	10 -10	9 -9	2 -3	7 -9	2 -2	6 -8	62 -72	
		MATERIAL PARTICULADO	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5 -9	NA	NA	NA	3 -3	7 -8	15 -20	
		RUIDO INDUSTRIAL	5 -8	5 -8	5 -8	5 -8	5 -8	5 -8	5 -8	5 -6	5 -7	5 -7	5 -7	5 -7	5 -7	65 -97	
		LODOS DE PROCESO	6 -10	6 -10	6 -10	6 -10	6 -10	6 -10	6 -10	NA	6 -10	6 -10	6 -10	NA	NA	60 -90	
		DESECHOS SÓLIDOS (FUND, RECIPIENTES)	3 -2	NA	3 -3	2 -2	3 -5	2 -8	2 -8	2 -8	2 -8	2 -8	2 -3	2 -8	NA	NA	23 -55
	ABIÓTICO	SUELO	DERRAMES DE QUÍMICOS	NA	NA	NA	NA	2 -6	2 -8	2 -8	2 -8	2 -8	1 -3	2 -8	NA	NA	13 -49
			DERRAMES DE AGUAS CONTAMINADAS	8 -9	8 -9	8 -9	8 -9	8 -9	8 -9	8 -9	NA	8 -9	8 -9	8 -9	8 -9	NA	88 -81
		GENERACIÓN DE EMPLEO	5 -5	3 -5	3 -5	3 -5	3 -5	3 -5	3 -5	3 -5	3 -5	3 -5	3 -5	3 -5	3 -5	36 -65	
		CONSUMO ENERGÍA ELÉCTRICA	8 -10	8 -10	8 -10	8 -10	8 -10	8 -10	8 -10	NA	8 -10	8 -10	8 -10	8 -10	5 -9	93 -119	
	SOCIAL	AFECCIÓN A LOS TRABAJADORES	5 -10	5 -10	6 -10	6 -10	6 -10	7 -10	8 -10	8 -10	8 -10	5 -10	7 -10	3 -10	5 -7	79 -127	

Fuente: GUAMAN, 2012

Tabla 11. Evaluación del impacto ambiental 3

FAC. AMB.		ACTIVIDADES													TOTAL PRCIAL		
		DESENGOMADO	ENJUAGUE	STONEADO	DETERGENTIADO	TINTURADO DIRECTO	TINTURADO REACTIVO	TINTURADO SULFUROSO	TINTURADO MANUAL (RESPONADO)	ELIACIÓN DEL COLOR	SUAVIZADO	BLANQUEO	CENTRIFUGADO	SECADO			
COMPONENTE AMBIENTAL	ABIÓTICO	AGUA	TEMPERATURA	-54	NA	-54	-63	-90	-90	-80	NA	-72	-30	-81	-6	NA	-620
			CONSUMO	-80	100	-90	-90	-90	-90	-90	NA	-90	-90	-90	-20	NA	-720
			SÓLIDOS TOTALES Y EN SUSPENSIÓN	-48	-30	-100	-36	-72	-72	-72	NA	-48	-9	-72	-9	NA	-568
			RESIDUOS ORGÁNICOS	-81	-81	-81	-63	-30	-30	-30	NA	-36	-18	-30	-6	NA	-486
			CONTAMINATES QUÍMICOS	-80	-80	-90	-80	-80	-90	-100	NA	-90	-80	-90	-50	NA	-910
	ABIÓTICO	ATMÓSFERA	EMISIONES GASEOSAS	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-36	-16	-448
			RUIDO AMBIENTAL	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-208
			VAPORES	-6	-6	-6	-9	-30	-30	-48	-100	-81	-6	-63	-4	-48	-437
			MATERIAL PARTICULADO	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-45	NA	NA	NA	-9	-56	-110
			RUIDO INDUSTRIAL	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-30	-35	-35	-35	-35	-35	-485
	ABIÓTICO	SUELO	LODOS DE PROCESO	-60	-60	-60	-60	-60	-60	NA	-60	-60	-60	NA	NA	-600	
			DESECHOS SOLID. (FUND, RECIPIENTES)	-6	NA	-9	-4	-15	-16	-16	-16	-16	-6	-16	NA	NA	-120
			DERRAMES DE QUÍMICOS	NA	NA	NA	NA	-12	-16	-16	-16	-16	-3	-16	NA	NA	-95
			DERRAMES DE AGUAS CONTAMINADAS	-72	-72	-72	-72	-72	72	-72	72	-72	-72	72	NA	-360	
	SOCIAL	GENERACIÓN DE EMPLEO	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	195	
		CONSUMO ENERGÍA ELÉCTRICA	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	NA	-80	-80	-80	-80	-80	-960	
		AFECTACIÓN A LOS TRABAJADORES	-50	-50	-60	-60	-60	-63	-70	-80	-80	-80	80	-70	-80	-723	
			-694	-436	-779	-694	-768	-642	-811	-324	-669	-606	-662	-254	-316	-7655	

Fuente: GUAMÁN, 2012

(+)= Impacto positivo

(-)= Impacto negativo

B= Bajo impacto

M= Mediano Impacto

A= Alto Impacto

Na= No aplica

1 – 10= magnitud

1 - 10= Importancia

Se identifican 17 factores ambientales con impacto significativo, se analizan 13 actividades principales del proceso de lavado y tinturado, la valoración se realiza en una escala de 1 a 10, tanto para la magnitud como para la importancia.

$$17 \times 13 = 221 \times 10 \times 10 = 22100$$

Si se divide este valor para tres se tiene:

$$\frac{22100}{3} = 7366,66$$

Entonces:

De 0 – 7366,66	se considera de bajo impacto
De 7366,66 – 14733,33	se considera de mediano impacto
De 14733,33 – a 22100	se considera de alto impacto

Tomando en consideración el valor de 7655 obtenido luego en la evaluación, se deduce que la empresa de lavado y tinturado Mundo Color es una industria de **mediano impacto**.

3.4 Caracterización del agua de entrada

Con la finalidad de conocer cuáles son las características del agua que se utiliza para el proceso de lavado y tinturado de ropa se realizó el análisis físico-químico del agua que se utiliza para el proceso. Es importante indicar que una parte del agua utilizada se capta de una vertiente ubicada en los exteriores del inmueble y otra de una acequia que pasa cerca de la planta (ver anexo A).

Tabla 12. Caracterización del agua de entrada

Parámetro	Unidades	Resultados
Conductividad	mc/cm	605
pH		7,73
Color	Pt-Co	20
Turbiedad	N.T.U	0,69
Índice de Langelier	I.L	-0,05
Sólidos totales	mg/l	342
Sólidos disueltos	mg/l	292
Sólidos de suspensión	mg/l	50
Alcalinidad total	mg/l	250
Carbonatos	mg/l	0
Bicarbonatos	mg/l	305
Hidróxidos	mg/l	0
		1 de 2
Anhídrido carbónico	mg/l	9,45

Dureza total	mg/l	170
Dureza carbonatada	mg/l	170
Calcio	mg/l	29,6
Magnesio	mg/l	23,4
Hierro total	mg/l	0,03
Aluminio	mg/l	0,002
Cloruros	mg/l	20
Sulfatos	mg/l	50
Amoníaco	mg/l	
Nitritos	mg/l	0,001
Nitratos	mg/l	2,5
Cloro residual	mg/l	0
Gérmenes por mililitro	G/ml	Incontables
Colibacilos totales	NMP/100 ML	<2419,2
Polibásicos fecales	NMP/100 ML	1119,9

Observaciones:

Muestra de agua del sector de Totoras es un agua ligeramente dura. No tiene cloro residual es decir no es apta para el consumo humano y uso doméstico. Tiene alto porcentaje de bacterias

2 de 2

Fuente: Cestta

3.5 Caracterización del agua residual

El procedimiento seguido es la toma de 6 muestras de agua en el punto de descarga a la red de alcantarillado, con un valor de 1 litro cada 30 minutos, para luego mezclar éstas muestras y obtener una muestra compuesta.

Fig. 13: Toma de muestras



Fuente: Autores

A continuación se muestran los resultados del agua residual que genera la empresa (ver Anexo B).

Tabla 13. Caracterización del agua residual

Resultados de los análisis				
Parámetros	Pee-cestta	Unidades	Resultado	V.L.P.
Potencial Hidrógeno	APHA 4500-H*	U. de pH	7,02	.5-9
Grasas y aceites	APHA 5520 B	mg/L	14,05	100
Demanda biológica de oxígeno(5 Días)	APHA 5210 B	mg/L	386	250
Demanda química de oxígeno	APHA 5220 D	mg/L	575	500
Color real	APHA 2120-C	UP/Co	315	-
Nitratos	APHA 4500-NO3-A	mg/L	6,97	-
Nitritos	APHA 4500-NO2 -B	mg/L	0,103	-
Sulfatos	APHA 4500- SO 4 -E	mg/L	125	400
Cromo total	APHA 3030 B, 3111 B	mg/L	<0,3	-
Níquel	APHA 3111 B, 3030 E	mg/L	<0,2	2
Zinc	APHA 3111 B	mg/L	0,12	10
Sólidos suspendidos	APHA 2540 D	mg/L	<50	220
Sólidos totales	APHA 2540 B	mg/L	3012	1600
Tensoactivos	APHA 5540 C	mg/L	1,03	2
Compuestos fenólicos	APHA 5530 C	mg/L	0,029	0,2
Cloruros	APHA4500-CI	mg/L	1050	-
Oxígeno disuelto	APHA 4500- O C	mg/L	<1	-
Cadmio	APA 3111 B, 3030 E	mg/L	<0,04	0,02
Cobre	APHA 3111 B, 3030 E	mg/L	0,05	1
Mercurio	APHA 3500C, 3114C	mg/L	<0,001	0,01
Plomo	APHA 3030 B, 3111 B	mg/L	<0,3	0,5
Caudal	Volumétrico	L/s	1,7	1,5

Fuente: Cestta

Algunos de los parámetros rebasan los límites permisibles, por lo tanto es necesario buscar otro procedimiento para el tratamiento del agua residual que sea más efectivo.

3.6 Parámetros críticos de calidad del agua

Tabla 14. Parámetros críticos de la calidad del agua

Resultados analíticos				
Parámetros	Pee-cestta	unidad	resultado	V.L.P.
Demanda Biológica de oxígeno(5 Días)	PEE/LABCESTTA/46 APHA 5210 B	mg/L	386	250
Demanda química de oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 APHA 5220 D	mg/L	575	500
Color real	PEE/LABCESTTA/61 APHA 2120-C	UTC	315	100
Sólidos totales	PEE/LABCESTTA/10 APHA 2540 B	mg/L	3012	1600

Fuente: Cestta

Por lo tanto el sistema de tratamiento aplicado no es el correcto, ni tampoco la dosificación adecuada, por otra parte el desnivel al que se encuentran los tanques incrementa la velocidad del agua provocando la ruptura los flóculos.

3.7 Sistema de Tratamiento de agua actual

Es importante mencionar que a partir del mes de junio del 2012 el gerente propietario instaló un sistema de tratamiento de agua, disponiendo 6 tanques con una capacidad de 2000 litros cada uno, en el transcurso del tiempo que ha durado la investigación se ha podido observar que el dueño de la empresa ha demostrado su preocupación por cumplir con las exigencias del ministerio de Ambiente, probando mediante el método del tanteo algunos tipos de tratamiento, entre ellos la dosificación de policloruro de aluminio cuya concentración es la siguiente:

12,5 Kg son disueltos en 60 litros de agua, se tiene un concentración de 208,33 gr. diluidos en un litro de agua, a su vez ésta cantidad es suministrada en 73970 litros de agua utilizados en una jornada de 12 horas.

El consumo de agua promedio es de 73970 litros al día, por ende se suministra 0,0008111 litros o lo que es lo mismo 8,1 ml por litro.

Fig. 14.Sistema de tratamiento actual



Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DEL PROTOTIPO

4.1 Caudal promedio

A continuación se muestran los valores obtenidos en la prueba de aforo volumétrico realizada de la siguiente manera:

Se toma tres mediciones de volumen en el punto de descarga, con una cubeta se mide el tiempo que demora en llenarse y se repite durante seis veces cada treinta minutos:

Tabla 15. Cálculo de caudal promedio

Medición	Volumen (lt)	Promedio	Tiempo (seg)	T. Prom	caudal v/t
1	2,5	2,5	3	3,1	0,81
	2		3,5		
	3		2,8		
2	5,5	5	2,5	2,33	2,14
	5		2,2		
	4,5		2,3		
3	3,5	3,83	3,2	2,73	1,4
	3,5		3		
	4,5		2		
4	6	7,17	2,5	3,27	2,19
	7,5		4		
	8		3,3		
5	4	4,67	2	2,33	2
	4,5		2,5		
	5,5		2,5		
6	5	5,33	2,2	2,42	2,21
	4,5		2,65		
	6,5		2,4		
Promedio		4,75		2,7	1,76

Fuente: Autores

El promedio de los tres métodos aplicados para determinar el caudal son:

Tabla 16. Resultado de caudal promedio

MÉTODO	VALOR
Medición de carga y descarga en máquinas	1,677
Medición CesstaEspoch	1,7
Aforo volumétrico	1,76
Caudal promedio	1,7123

Fuente: Autores

4.2 Volumen de agua residual

El caudal promedio es de 1,71 lt/seg, el consumo de agua en una jornada de 12 horas es de 73,97 metros cúbicos es decir 6164,16 litros por hora.

Los procesos varían de acuerdo a los requerimientos de los clientes, número de prendas, tipo de prenda, tonalidad de los colores, intensidad del stoneado, volumen del pedido, ya que no es posible mezclar el pedido de un cliente con el de otro, por ello en algunos casos aunque la capacidad de la máquina brinde la posibilidad de procesar un número mayor de prendas, si el lote de pedido es menor, se debe proceder solamente con la cantidad requerida.

Las descargas de agua durante el proceso de lavado y tinturado son muy intermitentes, en determinados momentos descargan las 4 máquinas, por lo tanto el valor del caudal aumenta considerablemente, mientras que en otros momentos no existe descarga por lo tanto el valor es nulo, por ello se dedicó mucha atención en la determinación de este parámetro para calcular el volumen de agua utilizada en la jornada de trabajo que oscila entre 8 y 12 horas diarias.

4.3 Construcción del prototipo

4.3.1 Fuente de poder. Para realizar la investigación sobre el tratamiento de aguas mediante electrocoagulación, se procedió a construir dos fuentes de poder regulables.

La primera fuente para los ensayos iniciales tuvo las siguientes características:

- Entrada de 110V
- Regulador de corriente alterna a corriente continua
- La salida de la fuente es de 1 a 16Vcc regulables y una intensidad de 4 A

La segunda fuente para el prototipo exigía características especiales, no se encontró disponible en el mercado, por lo tanto fue necesaria su construcción, con las siguientes especificaciones:

- Entrada de 110V
- Regulador de corriente alterna a corriente continua
- Salida de 5 a 30Vcc regulables y una intensidad de 50 A

Para esta fuente se utilizó el transformador de una soldadora, la cual cumplía con los requerimientos, entrega hasta 135 A, además se utilizó electrónica de potencia por el alto amperaje que necesita para la operación el prototipo.

4.3.2 *Electrodos*

Número de electrodos. Para seleccionar el número de electrodos de aluminio y acero que se van a utilizar en el proceso de electrocoagulación, es necesario tomar en cuenta parámetros experimentales y de capacidad de procesamiento tales como:

- Parámetros del agua a ser procesada
- Capacidad de la celda de electrocoagulación
- Pruebas con diferentes materiales de placas para poder determinar cuál es la mejor combinación para poder realizar el tratamiento, pudiendo ser:
 - a. Placas de aluminio – aluminio
 - b. Placas de hierro – hierro
 - c. Placas de aluminio – hierro
 - d. Placas de hierro – hierro durante la mitad del proceso, y la otra mitad utilizando los pares de placas de aluminio – aluminio.
- Número de pares de placas que son necesarios hasta poder obtener el agua con los parámetros aceptables para su descargar o reutilización, por ende, el prototipo

dispone de una llave en cada división, de las cuales se toman diferentes muestras de agua para poder determinar en donde se encuentra el agua con los parámetros requeridos.

Tamaño de los electrodos. Una vez seleccionado el tipo de electrodos que se utilizarán en el proceso procedemos a determinar el tamaño de los electrodos, prosiguiendo de la siguiente manera:

- En el proceso de electrocoagulación se produce un ataque de electrones entre el ánodo y el cátodo para desestabilizar la molécula del agua y separar el color, por ende, mientras tengamos una mayor superficie de contacto entre electrodos y el agua a ser procesada, el tratamiento será mucho más eficiente.
- Otro parámetro a tomar en cuenta son las dimensiones del prototipo, si los compartimentos donde se van a ubicar los electrodos son de 30,5 cm de ancho y de 22 cm de alto, las placas deben tener 1 cm menos en las dimensiones, este espacio facilitará la instalación.
- Es necesario tener en cuenta los diferentes elementos que compondrán el prototipo, como llaves plásticas, cableado eléctrico, para evitar inconvenientes de montaje y desmontaje.

Consumo de los electrodos. Es importante conocer cuánto se consumen los electrodos en el proceso de electrocoagulación.

- Los electrodos de aluminio miden 32 cm de largo y 21 de alto.
- Los electrodos de acero A36 miden 32 cm de largo y 21 de alto.

Tabla 17. Cálculo de la pérdida de masa de los electrodos

e en cm	A en cm ²	ma(gr/mol)	I en A	Di=I(A)/A(cm ²)	Val.	F en Coul/mol	t en segundos en un mes	m= Di.t.ma/val.F
0,8	672	26,9815	33,1	0,04925595	3	96500	2592000	118,99
0,6	672	55,847	33,1	0,04925595	3	96500	2592000	246,29

Fuente: Autores

Tabla 18. Tiempo de consumo de los electrodos

$\rho(\frac{gr}{cm^3})$	Volumen (cm ³)	m _{TE}	Duración en meses
2,7	537,6	1451,52	12,2
7,86	403,2	3169,152	12,9

Fuente: Autores

El tiempo de duración de los electrodos de aluminio es de 12,2 meses y los electrodos de hierro son de 12,9 meses.

Elaboración de los electrodos. De acuerdo con las pruebas realizadas previamente se determinó que una reacción electroquímica eficiente acorde con las necesidades requeridas, es lograda con una combinación de electrodos de aluminio y platinas de acero. Sin embargo, en el mercado no es posible conseguir una plancha de aluminio que nos permita elaborar los electrodos con las medidas obtenidas de los respectivos cálculos, por lo tanto fue necesario realizar la fundición de dichos electrodos para los ensayos.

Electrodos de acero

Para la construcción de los electrodos de acero se utilizó los siguientes elementos:

Materiales

- Platina de acero A36, de 3" x ¼"
- Electrodos
- Disco de corte

Herramientas

- Tornillo de banco
- Arco de sierra
- Amoladora
- Prensa manual
- Rayador
- Calibrador
- Punto

- Broca HSS 5/32"
- Broca HSS 11mm

Procedimiento

- Sujetar la pletina
- Trazar y cortar
- Retirar la platina
- Soldar las pletinas
- Trazar líneas de referencia
- Puntear centros para los agujeros
- Taladrar los agujeros en las esquinas
- Taladrar los agujeros hasta $d=11$ mm
- Retirar la placa

Electrodos de aluminio

Materiales

- Chatarra de aluminio

Herramientas

- Cuchareta de acero
- Tornillo de banco
- Arco de sierra
- Amoladora
- Prensa manual
- Rayador
- Calibrador
- Punto
- Broca HSS 5/32"
- Broca HSS 11mm

Para la fundición de las placas de aluminio fue necesario realizar las siguientes actividades:

- Construir un crisol
- Armar un horno con ladrillo común
- Utilizar como combustible carbón vegetal avivado con un venterol
- Armar cajas de madera de diferentes medidas para contener la arena de moldeo

Para construir las placas fue necesario:

- Armar las cajas con arena de moldeo
- Fundir la chatarra de aluminio
- Retirar la escoria de la colada de aluminio utilizando sal en grano
- Verter la colada en el molde
- Esperar que se enfrié la fundición
- Separar las partes del molde
- Retirar la fundición
- Mecanizar las placas fundidas
- Realizar los agujeros para introducir los separadores

Los electrodos se fundieron de varias medidas, los cuales fueron utilizados para realizar diferentes ensayos y determinar parámetros como: tiempo de permanencia del agua de proceso, corriente consumida, incidencia del policloruro de aluminio sobre el proceso, etc.

Además los electrodos son ensamblados por pares, distanciados entre sí mediante un separador de nylon y roscado M-10 para evitar cortocircuitos y sujetados en los extremos mediante tuercas.

4.3.3 *Construcción de los separadores.* Fue necesario disponer de:

Materiales

- Barra de nylon de 2,5 cm de diámetro

Herramientas

- Torno
- Sierra manual
- Flexómetro
- Cuchilla HSS ¼
- Calibrador
- Tornillo de banco
- Roscador H. M10

Procedimiento

- Cortar 60 mm de longitud de la barra de nylon
- Sujetar el eje de nylon con el mandril
- Cilindrar extremo hasta 10 mm de diámetro y 20 mm de longitud
- Girar el eje
- Cilindrar extremo hasta 10 mm y 20 mm de longitud
- Retirar el eje de nylon
- Sujetar eje de nylon con el tornillo de banco
- Roscar
- Girar y sujetar eje con el tornillo de banco
- Roscar
- Retirar el eje de nylon

La conformación final de las placas es la siguiente:

Fig. 15. Electrodo



Fuente: Autores

4.3.4 Construcción de la celda de electrocoagulación. Para la construcción de la celda de electrocoagulación se ha tomado en consideración los siguientes datos:

- Tiempo de retención de 10 minutos
- Medidas del recipiente en vacío es de 80x35x25 dm = 70000cm³
- Nivel máximo de agua 21 cm
- Volumen de agua de 40 litros
- Volumen de los electrodo de hierro es de 32x21x0,6 = 403,2 cm³
- Volumen de los electrodo de aluminio es de 32x21x0,8 cm = 537,6 cm³
- Distancia entre electrodos es de 2cm
- Numero de electrodos= 10 c/u
- Conductividad del agua $k= 6368\mu\text{S}/\text{cm}=0,6368 \text{ S}/\text{m}$

A continuación se procede a calcular el volumen de agua que abarca la celda con todos los elementos colocados.

Tabla 19. Volumen de agua contenido en la celda

Componente	Largo [cm]	Ancho [cm]	Altura [cm]	V. [cm ³]	Cantidad	Total
Celda	80	35	25	70000	1	70000
Separadores				8,8	40	352
Tuercas				1,2	40	48
Electrodos de acero	32	21	0,6	403,2	10	4032
Electrodos de aluminio	32	5	0,8	128	10	1280
Pared 1	32	21	0,8	537,6	5	2688
Pared 2	32	21	0,8	537,6	5	2688
Volumen de agua tratada por la celda						58912

Fuente: Autores

El volumen de la celda de electrocoagulación restando los componentes, es de 58912 cm³, igual a 58,9 litros.

La celda está dividida en 5 sub-celdas, las mismas que poseen una pared intermedia que provocan un movimiento ascendente y descendente del agua, la distancia total recorrida es igual a 5 veces la altura del nivel del agua, esto es igual a 105 cm.

Como el volumen del agua es de 58,9 litros, el volumen en cada sub-celda es:

$$V_{sc} = \frac{V_T}{5} = \frac{58,9lt}{5} = 11,78 lt$$

La velocidad del agua es:

$$Vel_{.agua} = \frac{d_T}{t} = \frac{105cm}{10 min.} = 10,5cm/min$$

El caudal es:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{58,9 lt}{10 min} = \frac{5,89lt}{min} = 353,5 \frac{lt}{hora}$$

La capacidad de tratamiento del prototipo es de 353,5 litros por hora, se detalla los elementos necesarios para su construcción.

Materiales

- ½ plancha de policarbonato
- Perfil U de aluminio
- Silicón
- Llaves de plástico de ½”
- Tubería PVC de ½”

Herramientas

- Escuadra
- Flexómetro
- Prensa manual
- Caladora
- Lija # 120
- Pistola de silicón
- Calibrador

- Punto
- Regla
- Copa cierra # 22
- Broca para madera #5

Procedimiento de construcción de la celda

- Posicionar la plancha de policarbonato
- Trazar líneas guías de corte
- Sujetar la plancha de policarbonato
- Cortar el policarbonato
- Retirar rebabas de la operación de corte
- Posicionar y sujetar la placa base
- Pegar paredes laterales
- Pegar paredes frontales
- Pegar canaletas en las placas de las divisiones internas
- Pegar las divisiones internas al conjunto
- Pegar los perfiles de aluminio en los bordes para reforzar la estructura
- Trazar puntos de perforación
- Perforar placa inferior y lateral, $d=22$ mm
- Perforar placa lateral $d=5$ mm, para cableado eléctrico
- Perforar placa frontal y posterior $d=22$ mm
- Colocar las llaves en las sub-celdas
- Colocar la tubería para el desagüe de lodos
- Colocar y atornillar la celda en la mesa

4.3.5 *Sistema de entrada y descarga del agua a tratar.* El sistema de alimentación utiliza tubería plástica de $\frac{1}{2}$ ", además consta de una electroválvula que nos permite dar inicio al proceso de manera automática, seguido de una válvula de globo que nos permite regular el caudal de ingreso de agua a la celda electrolítica para realizar las diferentes pruebas.

Fig. 16.Sistema de entrada de agua



Fuente: Autores

4.3.6 Construcción del barredor. El barredor tiene la función de remover los flóculos que se hallan suspendidos. Para la construcción del barredor se utilizó:

Materiales

- Perfil de aluminio en F
- Banda dentada
- Reductor de velocidad mediante engranajes
- Motor de 5Vcc
- Lámina plástica
- Tornillos y remaches
- Ruedas de 10 mm de diámetro

Herramientas

- Escuadra
- Flexómetro
- Prensa manual
- Calibrador
- Regla
- Taladro
- Broca HSS 5mm

Procedimiento

- Tomar medidas de la base donde se va a apoyar el barredor
- Cortar el perfil y ubicarlos en el prototipo
- Colocar el sistema de engranajes
- Colocar el motor
- Instalar el bocín y la banda que nos permitirán el movimiento del barredor
- Cortar el perfil para ubicar la lámina plástica la cual nos va a servir de barredor
- Alinear todos los componentes
- Colocar las ruedas en los extremos del barredor para que nos sirvan de guía y el movimiento del mismo sea uniforme
- Comprobar el funcionamiento
- Realizar las conexiones eléctricas con el logo

4.3.7 *Construcción del sedimentador.* Para el diseño del sedimentador es importante conocer que el caudal es de 5lt/min ($8,33 \cdot 10^{-5}$ m³/s), necesitamos también la velocidad de sedimentación, este dato se calcula mediante los datos obtenidos en la experimentación, un sedimentador simple en el caso más crítico toma 15 minutos, por ende la partícula para recorrer 25 cm se demora 15 minutos, reemplazando en la fórmula $V=X/t$ para poder encontrar la velocidad requerida:

$$V_s = \frac{25 * 10^{-2}m}{15 * 60 \text{ seg}} = 2,77 * 10^{-4}m/s$$

El área de la superficie de sedimentación es:

$$A = \frac{Q}{V_s} = \frac{8,33 * 10^{-5}}{2,77 * 10^{-4}} = 0,3 \text{ m}^2$$

$$A = 3007 \text{ cm}^2$$

Para determinar el ancho (B) y la altura (H) es necesario imponer estos valores, pero éstos deben cumplir las siguientes condiciones para un sedimentador convencional.

$$3 < \frac{L}{B} < 6$$

$$5 < \frac{L}{H} < 20$$

Para un ancho de 30 cm obtenemos una longitud de 100 cm y una altura máxima de 19 cm, luego procedemos a verificar los datos en las condiciones anteriores:

$$\frac{L}{B} = \frac{100}{30} = 3,33 \qquad 3 < 3,33 < 6$$

$$\frac{L}{H} = \frac{100}{19} = 5,26 \qquad 5 < 5,26 < 20$$

Confirmando las condiciones del sedimentador convencional, los datos anteriormente enunciados son los definitivos para que la sedimentación sea realizada de manera eficaz.

Una vez cumplidas las relaciones se calcula la velocidad horizontal:

$$V_h = \frac{100 * Q}{B * H} = \frac{100 * 8,33 * 10^{-5}}{30 * 19} = 1,46 * 10^{-5} \text{ cm/s}$$

Luego se calcula la altura máxima del sedimentador, es decir, aumentado el depósito de los lodos mediante la siguiente fórmula:

$$H_m = H + 0,1L$$

$$H_m = 19 + 0,1 * 100 = 29 \text{ cm}$$

La altura para el espacio de los lodos es de 10 cm.

A continuación se obtiene el tiempo de retención:

$$T = \frac{\text{Volumen}}{\text{Caudal}} = \frac{0,30 * 1 * 0,29}{8,33 * 10^{-5}} = 1044,41 \text{ seg} = 17,4 \text{ min}$$

Este tiempo de retención es un dato clave ya que en la experimentación la sedimentación se da a los 15 minutos, y con los 17,4 min que se va a retener el líquido en el sedimentador estaríamos garantizando la sedimentación de la totalidad de los flocúlos.

Para la construcción del sedimentador se necesitó:

Materiales

- 1/4 plancha de policarbonato

- Perfil de aluminio en U
- Silicón
- Remaches
- Tuberías de ½"

Herramientas

- Escuadra
- Flexómetro
- Prensa manual
- Caladora
- Lija # 120
- Pistola de silicón
- Calibrador
- Regla
- Copa cierra # 22
- Broca para madera #5

Procedimiento para construcción del sedimentador

- Posicionar la plancha de policarbonato
- Trazar líneas guías de corte
- Sujetar la plancha de policarbonato
- Cortar el policarbonato
- Retirar rebabas de la operación de corte
- Posicionar y sujetar la placa base
- Pegar paredes laterales
- Pegar paredes frontales
- Perforar la placa intermedio para la retención de flóculos
- Pegar la placa de retención de flóculos
- Pegar los receptores de la entrada y salida del agua
- Pegar los perfiles de aluminio en los bordes para reforzar la estructura
- Trazar puntos de perforación
- Perforar placa lateral, d=22 mm

- Colocar la tubería para el desagüe de lodos
- Colocar el sedimentador en la mesa

4.4 Automatización del sistema

Para automatizar el sistema de remoción, necesitamos de un control lógico programable (PLC) básico, como el Logo, este dispositivo nos permitirá controlar el avance del sistema de barrido y el retroceso del mismo, además el sistema de ingreso de agua residual a la celda y el sistema de descarga de lodos (limpieza de la celda y el sedimentador).

La automatización permite que por medio de un pulsador de inicio, la electroválvula de entrada de agua se abra y llene la celda, luego de dos minutos, cuando la primera sub-celda empiece a funcionar con carga, se generará espuma, el motor de avance se activará para dar comienzo a la remoción de lodos, también se va a contar con dos pulsadores en la parte de los topes de los rieles límites del barredor, el motor para el avance funcionará inmediatamente cuando el pulsador envíe la señal, para el regreso se activará 30 segundos después que el pulsador de retorno envíe la señal para realizar la inversión de giro del motor y genere el barrido de retorno, con este tiempo de espera para el retorno del barredor aseguraremos que se produzca una mayor cantidad de lodo y que la remoción sea más eficiente.

El sistema automático consta de un pulsador, que acciona otra electroválvula, que se encarga de la descarga de los flóculos sedimentados y lodos acumulados en la celda y el sedimentador.

Para realizar la automatización necesitamos y el sistema de automatización se lo muestra en la fig. 17.

Entradas

- I1 = Pulsador de Inicio
- I2 = Pulsador de paro
- I3 = Pulsador para avance del barredor
- I4 = Pulsador para retorno del barredor
- I5= Pulsador de descarga (limpieza)

Salidas

- Q1 = Avance del barredor
- Q2 = Retorno del barredor
- Q3 = Electroválvula de ingreso del agua al proceso
- Q4 = Electroválvula de descarga (limpieza)

4.5 Mantenimiento básico

Todas las piezas y elementos con los que cuenta el prototipo están contruidos para que tengan un tiempo de vida útil relativamente largo, así se garantiza la fiabilidad del equipo.

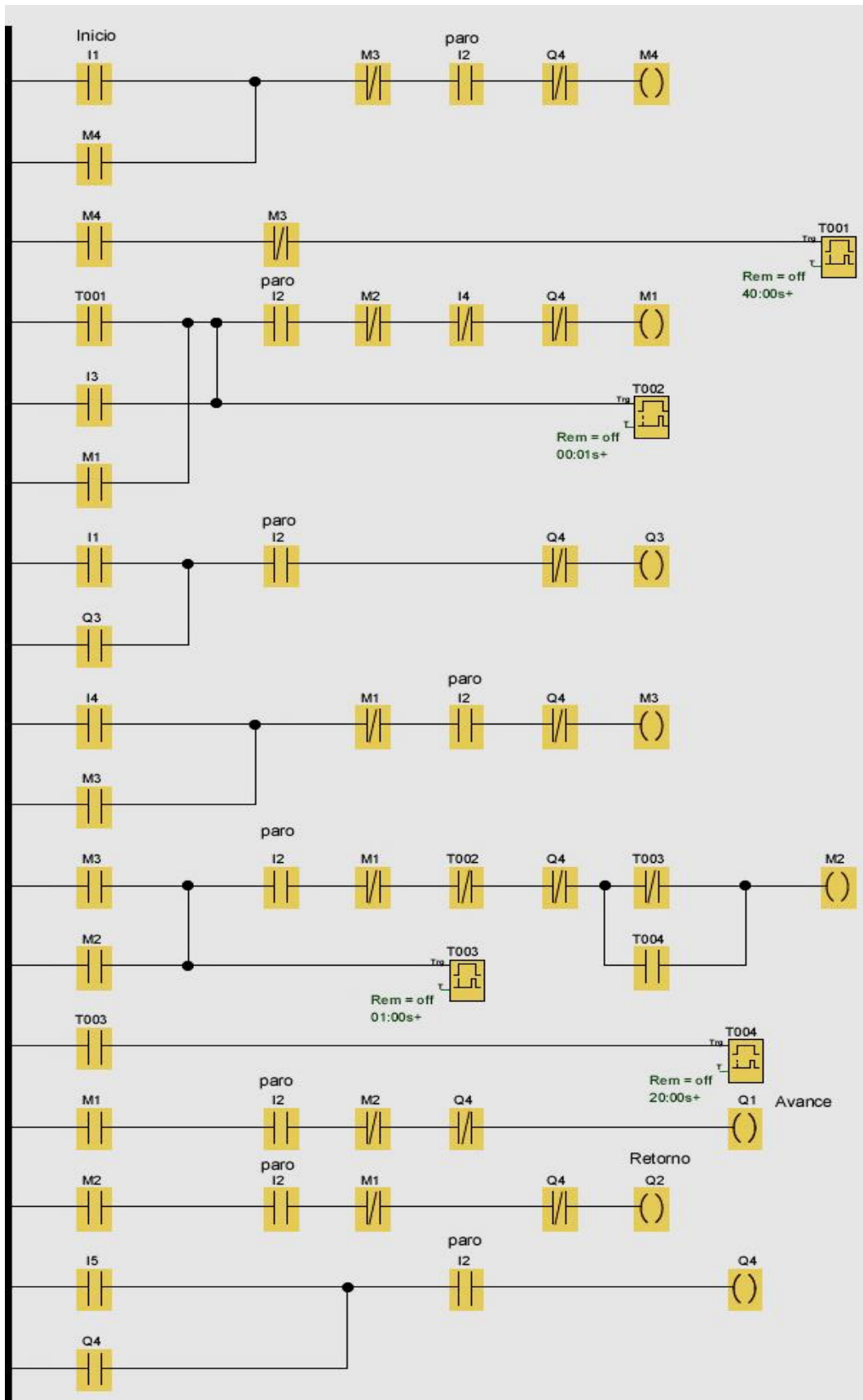
Al utilizar en la construcción del equipo nylon, plástico y policarbonato, se limita el reemplazo de piezas por corrosión u oxidación.

4.5.1 Medidas de mantenimiento preventivo. Limpieza permanente: El equipo debe ser limpiado con el sistema eléctrico completamente desactivado. No utilizar líquidos o aerosoles limpiadores para el policarbonato ya que perdería transparencia que éste posee, usar una franela húmeda para la limpieza. Evitar el uso de guaiques o estopas que puedan generar pelusas o residuos dentro del equipo.

Sistema eléctrico y electrónico:

- Verificar que los rieles de cobre se encuentren libres de humedad, y que los pernos que sujetan los terminales se encuentren sin corrosión.
- Comprobar que el regulador entregue un voltaje constante, sin que exista generación de calor en los SCR o en los diodos rectificadores.
- Hacer una revisión permanente del estado de las pistas del circuito impreso ya que por la cantidad de corriente estas pueden reventar.
- Comprobar que la temperatura en el transformador no se mantenga al límite del diseño, utilizar ventilación forzada en caso de ser necesario.
- Comprobar que el cableado eléctrico se encuentre en óptimas condiciones, ya que el calor generado por la corriente que está circulando puede deshacer la cubierta plástica protectora y ocasionar un cortocircuito.

Fig. 17. Diagrama de escalera



Fuente: Autores

- Alejar cualquier objeto metálico de la zona donde se encuentra el regulador del voltaje ya que por la cantidad de corriente de 50 A puede haber saltos y producir descargas eléctricas, esto podría quemar la tarjeta de control de pulsos.
- Mantener fuera de la humedad y de los rayos directos del sol al LOGO, verificar que las borneras de conexión se encuentren totalmente limpias para asegurar un buen contacto con los cables.
- Al momento de reemplazar el fusible, asegurarse que este pueda soportar únicamente 1 A y que no sobrepase esta capacidad ya que podría quemar al LOGO en caso de haber una sobrecarga.
- Mantener las electroválvulas secas y aisladas sus conexiones.

Elementos removibles.- Debido a la acción corrosiva y a la pérdida de material por el proceso de electrocoagulación y al funcionamiento del equipo, los electrodos de aluminio y de acero irán lentamente consumiéndose y perdiendo espesor, razón por la cual será necesario reemplazarlas para poder continuar con el tratamiento de aguas de proceso.

Así mismo los terminales que conectan a los electrodos con el regulador de voltaje se deteriorarán por la acción corrosiva que tiene el agua y al proceso de electrocoagulación, esto hace que deban ser reemplazadas con el cable incluido, para un óptimo desempeño del equipo.

Electrodos de aluminio y acero.- Cambiar los electrodos cuando éstos hayan perdido alrededor de 5 mm en su área de reacción electroquímica.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 Costos directos

Costos de materiales directos.- Los materiales directos son la materia prima que se utiliza para la construcción del equipo.

Tabla 20. Costos de materiales directos

Costos de materiales directos			
Material	Cantidad	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Platina de acero ASTM A 36 3" x 1/4"	1	45	45
Ángulo de acero ASTM A 36 1"x1/8"	2	2	4
Tubo cuadrado 1 1/4" x 1"	4	7,98	31,92
Policarbonato 10mm	1	45	45
Nylon 12 mm de diámetro	1	30	30
Plancha MDF 12 mm	1	25	25
Placas de Aluminio	10	50	500
SUBTOTAL			680,92

Fuente: Autores

Costos de elementos eléctricos y electrónicos.- Son los elementos requeridos para la automatización y para la alimentación eléctrica.

Tabla 21. Costo de elementos eléctricos y electrónicos

Costos de elementos eléctricos y electrónicos			
Elemento	Cantidad	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Logo SIEMENS	1	141	141
Fuente de poder 12[V], 1[A]	2	7	14
Transformador 20[V], 230[A]	1	150	150
			1 de 2

Regulador de voltaje	1	300	300
Voltímetro	1	14	14
Amperímetro	1	14	14
Pulsadores	3	8	24
Riel de cobre 1x1/8"	2	11	22
Porta fusible	1	4	4
Borneras de conexión 15[A]	5	0,36	1,8
Terminales	100	0,16	16
Enchufe de 3 patas	1	2,1	2,1
Cable flexible #16	10	0,18	1,8
Cable flexible #14	7	0,22	1,54
Cable flexible #12	10	0,34	3,4
SUBTOTAL			709,64
			2 de 2

Fuente: Autores

Costos de maquinado. - Es el costo de la mano de obra directa empleada en las máquinas herramientas y en el equipamiento eléctrico.

Tabla 22. Costo de maquinado

Costos de maquinado			
Máquina	Costo por máquina incluido mano de obra [USD/h]	Tiempo total	Costo total por máquina [USD]
Torno	10	2	20
Soldadora	7	3	21
Taladro	5,5	3	16,5
Caladora	5	3	15
Tronzadora	5	1	5
Amoladora	2,5	2	5
SUBTOTAL			82,5

Fuente: Autores

Costos de elementos normalizados. - Son aquellos elementos de libre comercialización en el mercado y los cuales no necesitan ser modificados para su posterior uso.

Tabla 23. Costo de elementos normalizados

Costos de elementos normalizados			
Elemento	Cantidad	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Tornillo (cabeza de coco) 1/4x2"	18	0,12	2,16
Tornillo 3/16'x1"	20	0,1	2
Tornillo 3/16'x1/2"	20	0,08	1,6
Tuerca M10	40	0,2	8
Tuerca 1/4"	12	0,08	0,96
SUBTOTAL			14,72

Fuente: Autores

Costos de elementos hidráulicos.- Son los costos de todos los accesorios necesarios para controlar el flujo del agua de proceso.

Tabla 24. Costos de elementos hidráulicos

Costos de elementos hidráulicos			
Elemento	Cantidad	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Electroválvula 1/2"	2	45	90
Válvula check 1/2"	1	11	11
Tubería plástica 1/2"	1	3	3
Manguera anillada 1"	1,5	2,6	3,9
Llave de globo 1/2"	7	2,4	16,8
Llave plástica 1/2"	6	1,6	9,6
SUBTOTAL			134,3

Fuente: Autores

Costos de montaje.- Son los costos relacionados con la mano de obra necesaria para el armado y ensamblado de cada uno de los módulos del prototipo.

Tabla 25. Costos de montaje

Costos de montaje			
Trabajadores	Costo por día [USD]	Días	Valor total [USD]
2	30	3	90
SUBTOTAL			90

Fuente: Autores

Costos directos totales:

Tabla 26. Costo directo total

Costo directo total	
Componente del costo	Valor [USD]
Costos de materiales directos	680,92
Costos de elementos eléctricos y electrónicos	709,64
Costos de maquinado	82,5
Costos de elementos normalizados	14,72
Costos de elementos hidráulicos	134,3
Costos de montaje	90
SUBTOTAL	1712,08

Fuente: Autores

5.2 Costos indirectos

Costos de materiales indirectos.- Aquí encontramos los materiales que no ayudaron para la construcción del prototipo.

Tabla 27. Costo de materiales indirectos

Costos de materiales indirectos			
Material	Cantidad	Valor unitario [USD]	Valor total [USD]
Disco de pulir	4	1,4	5,6
Disco de corte	8	1,21	9,68
			1 de 2

Electrodos 6011-1/8"(lb)	2	1,8	3,6
Electrodo 6013-1/8"(lb)	6	1,8	10,8
Cepillo de alambre	1	4,8	4,8
Pintura anticorrosiva	1	5	5
Sellante para madera	1	4,8	4,8
Tiñer	2	2	4
Silicón	7	4,1	28,7
Varios	1	30	30
SUBTOTAL			108,48
			2 de 2

Fuente: Autores

Costos de ingeniería.- Es el costo asignado al tiempo que los ingenieros han dedicado para la construcción del prototipo. Aproximadamente han sido empleadas 140 horas.

Tabla 28: Costos de ingeniería

Costos de ingeniería			
Descripción	Horas Hombre	Costo por hora [USD]	Valor total [USD]
Ingenieriles(control y supervisión)	140	11	1540
SUBTOTAL			1540

Fuente: Autores

Gastos de imprevistos:

Tabla 29: Gastos de imprevistos

Gastos imprevistos	
Descripción	Valor total [USD]
Imprevistos	120
SUBTOTAL	120

Fuente: Autores

Gastos varios. - Se relaciona principalmente con el transporte de cierto tipo de materiales, del prototipo, de movilización de personas, etc.

Tabla 30. Gastos varios

Gastos varios	
Descripción	Valor total [USD]
Alimentación	100
Transporte	210
Análisis de laboratorio	700
SUBTOTAL	1010

Fuente: Autores

Costos indirectos totales:

Tabla 31: Costos indirectos totales

Costo indirecto total	
Componente del costo	Valor [USD]
Costos de materiales indirectos	108,48
Costos de ingeniería	1540
Gastos imprevistos	120
Gastos varios	1010
SUBTOTAL	2778,48

Fuente: Autores

5.3 Costos totales del prototipo

Tabla 32: Costos totales del prototipo

Costo total del prototipo	
Componente del costo	Valor [USD]
COSTOS DIRECTOS	1712,08
COSTOS INDIRECTOS	2778,48
TOTAL	4490,56

Fuente: Autores

El costo total de la tesis después de construir el prototipo y los respectivos análisis es de \$ 4490,56 dólares.

CAPÍTULO VI

6. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6.1 Pruebas utilizando otros métodos

Antes de realizar las pruebas mediante de electrocoagulación, fue necesario hacer experimentos de laboratorio utilizando otros métodos como la aplicación de policloruro de aluminio, filtración y tratamiento mediante cabuya.

6.1.1 Prueba de jarras. Se añade policloruro de aluminio en polvo para determinar la dosis óptima en el tratamiento de agua residual.

Datos de entrada

- Volumen de las jarras: 1000ml
- Turbiedad Inicial: 223NTU

Máquinas y equipos

- Máquina Martex
- Turbidímetro
- Agitador magnético
- Filtro
- Vasos de precipitación

Fig. 18.Prueba de jarras



Fuente: Autores

Procedimiento

Muestra compuesta de 1000ml de agua de proceso tomada en el punto de descarga.

Preparación de la solución:

- Se diluyó 10 gr de policloruro de Aluminio en un litro de agua destilada, con una concentración de 10 ppm.
- Llenamos cada jarra con 1000 ml de agua residual y ponemos la solución de policloruro de aluminio en varios porcentajes.
- Se realiza la mezcla rápida en la máquina Martex por 15 min a 100 rpm.
- Se realiza la mezcla lenta por 15 minutos a 40 rpm.
- Se deja reposar durante 15 minutos.
- Tomamos una muestra de 30 ml de cada una de las jarras para análisis.

Tabla 33. Resultado de la prueba de jarras

Numero de Jarras	PPM	Solución(ml)	Turbidez(NTU)*
1	70	7	55,7
2	80	8	49,6
3	90	9	58,4
4	100	10	47,2
5	110	11	47,6
6	120	12	53,8

Fuente: Autores

Conclusión

- Al realizar la prueba de jarras con el policloruro de aluminio se obtuvo un resultado de floculación importante, observándose flóculos grandes, pero no fue posible remover el color del agua.
- La dosis óptima para la formación de flóculos es de 10ml por litro.

6.1.2 Prueba de filtrado. Se determina la efectividad del filtrado en la remoción del color del agua residual.

Materiales

- Muestra de agua cruda
- Probeta de ensayo de 100 ml.
- Probeta de ensayo de 50 ml.
- Papel filtro 1300/80

Procedimiento

- Llenar la probeta de ensayo hasta 100 ml con agua cruda.
- Colocar el papel filtro en el cono de ensayo.
- Verter el agua cruda.
- Dejar reposar durante 60 minutos.

Fig. 19. Prueba de filtrado



Fuente: Autores

Resultado

- Luego del ensayo se observa que el agua filtrada aún tiene una coloración muy fuerte, por lo tanto no se realizan mediciones de otros parámetros.

Conclusiones

- El método de filtración no es eficiente para la remoción del color.
- El método de filtración tiene más eficiencia en la retención de sólidos.

6.1.3 Prueba de remoción de color utilizando cabuya blanca. Se determina la eficacia de la cabuya blanca en la remoción del color del agua residual.

Materiales

- Agua residual
- Vaso de ensayo
- Trozos de cabuya blanca

Procedimiento

- Llenar el vaso con 500 ml de agua cruda.
- Cortar en trozos la cabuya blanca.
- Introducir en el vaso los trozos de cabuya.
- Esperar durante tres días.

Fig. 20. Prueba con cabuya blanca



Fuente: Autores

Resultados

- Con el método de la cabuya el color se remueve de manera mínima.

Conclusión

- La cabuya tiene propiedades de absorción del color pero de manera muy insignificante, este proceso necesita de periodos de tiempo muy largos, por lo que no es recomendable en la industria textil.

6.2 Pruebas mediante electrocoagulación

6.2.1 Prueba de electrocoagulación con electrodos de acero. Es necesario:

- Verificar el comportamiento del agua residual al utilizar corriente continua de 12V, y electrodos de acero.
- Determinar el tiempo estimado de remoción del color en el agua residual.

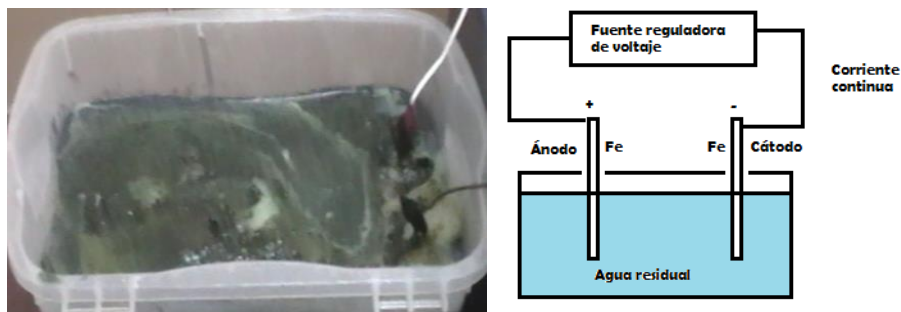
Materiales

- Muestra compuesta de agua residual
- 2 electrodos de hierro de (20 x 4 x 0,5)cm
- Recipiente plástico de (25 x 15x 10)cm
- Fuente de poder variable 1-12 Vcc, 2 Amperios
- Lagartos
- Multímetro
- Jeringuilla

Procedimiento

- Se ubicaron los electrodos en el recipiente, de forma horizontal, separados a una distancia de 2 cm.
- Se vierte la cantidad de 4 litros de agua compuesta.
- Se conecta la fuente de poder a 12 V.

Fig. 21. Prueba con electrodos de acero

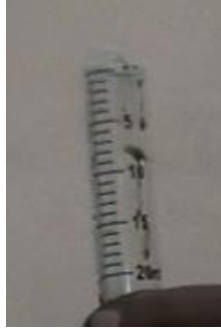


Fuente: Autores

Resultados

- Se comprobó que el proceso es eficiente en la remoción de color.
- El agua toma un color verdoso.
- El proceso tarda 30 minutos en clarificar el agua.

Fig. 22.Resultado con electrodos de acero



Fuente: Autores

Conclusión

- Se comprobó que el proceso es eficiente en la remoción de color, pero al tratarse de electrodos de hierro, el agua toma un color verdoso.
- El tiempo de remoción de color es mínimo de 30 minutos, en un proceso de electrocoagulación estático.

6.2.2 Prueba de electrocoagulación con electrodos de aluminio. Es necesario:

- Verificar la remoción de color utilizando electrodos de aluminio en el proceso de electrocoagulación.
- Determinar el tiempo estimado de remoción del color en el agua residual.

Materiales

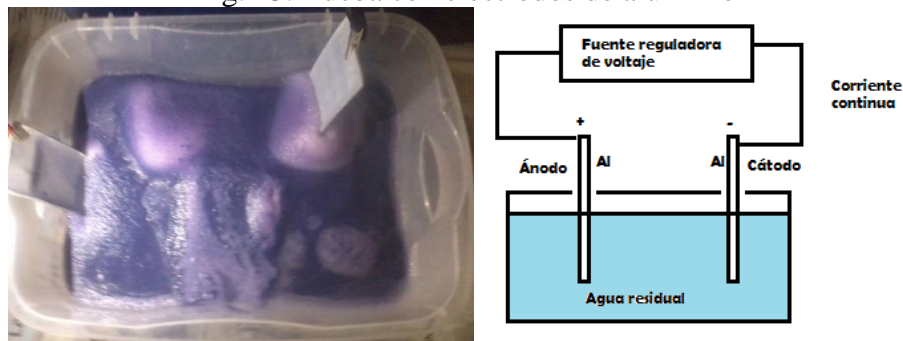
- Muestra compuesta de agua residual
- 2 electrodos de Aluminio de (20 x 4 x 0,5) cm
- Recipiente plástico de (25 x 15x 10) cm
- Fuente de poder variable 1-12 Vcc, 2 Amperios
- Lagartos

- Multímetro
- Jeringuilla

Procedimiento

- Ubicar los electrodos en forma vertical con una separación de 2 cm.
- Añadir 4 litros de agua en el recipiente.
- Conectar la fuente de poder 12V.

Fig. 23. Prueba con electrodos de aluminio

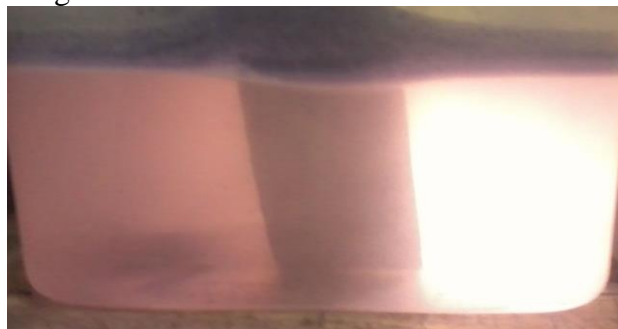


Fuente: Autores

Resultados

- El proceso empieza a realizarse eficazmente, se observa la generación de burbujas de oxígeno e hidrógeno descomponiendo las partículas y separando el color del agua, desplazándolas hacia la superficie, formando una capa de flóculos de 1 cm aproximadamente.
- El proceso de remoción de flóculos se realiza en un tiempo de 45 minutos.

Fig. 24. Resultado con electrodos de aluminio



Fuente: Autores

Conclusión

- Se verifica que el proceso de electrocoagulación con electrodos de aluminio funciona muy eficientemente.
- El tiempo de remoción de color con los electrodos de aluminio es mayor que utilizando los electrodos de hierro.

6.2.3 *Prueba de electrocoagulación con electrodos de aluminio en un proceso continuo.* Es necesario:

- Verificar el comportamiento del agua residual al utilizar corriente continua de 12V, en un proceso continuo.
- Determinar si al utilizar un aireador se obtiene mejores resultados.
- Determinar el tiempo estimado para poder remover el color del agua residual.

Materiales

- Muestra compuesta de agua residual
- 6 electrodos de aluminio de (25 x 10 x 1)cm
- Un recipiente de 25 litros cortado transversalmente a una altura de 15 cm
- 1 aireador de doble salida
- Manguera para la conducción del aire
- 2 botellones de agua de 5 litros
- 1 balde
- Fuente de poder variable 1-18 V, 4 A.
- Lagartos
- Multímetro
- Jeringuilla

Procedimiento:

- Ubicar los electrodos de aluminio en el recipiente de forma horizontal, separados a una distancia de 2 cm, procurando que el agua residual circule en forma de laberinto.

- Realizar agujeros en la manguera, para la salida de aire.
- Conectar la manguera en los dos extremos del aireador.
- Introducir la manguera en medio de las placas y en la parte inferior del recipiente.
- Colocar los bidones de sedimentación de manera vertical para poder retirar los flóculos sedimentados.
- Realizar las conexiones con la manguera para el paso del agua.
- Encender el aireador.
- Encender la fuente de poder.
- Empezar el proceso haciendo ingresar el agua residual al recipiente de manera continua, con un caudal bajo y constante.

Fig. 25. Prueba con electrodos de aluminio en proceso continuo

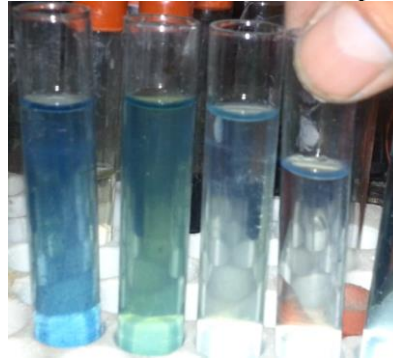


Fuente: Autores

Resultados

- Se comprobó que el proceso es eficiente en la remoción de color.
- La generación de flóculos se incrementan, pero éstos tienen un diámetro muy pequeño por lo que cualquier movimiento del agua, vuelve a mezclarla y por ende el proceso queda inhibido.
- Los bidones de sedimentación cumplen el proceso de retención de los flóculos.
- El tiempo de remoción del color depende del caudal con el que ingrese el agua al recipiente.

Fig. 26. Resultado con electrodos de aluminio en proceso continuo



Fuente: Autores

Conclusión

- Se comprobó que el proceso es eficiente en la remoción de color.
- El aireador dificulta el proceso, ya que al introducir aire a la tina se genera demasiadas burbujas y provoca que los flóculos se vuelvan a mezclar.
- El paso de agua en forma de laberinto asegura un mejor tratamiento.
- El tiempo de remoción del color depende de la concentración y del caudal de entrada del agua.

6.2.4 *Prueba de electrocoagulación con electrodos de aluminio y acero en un proceso continuo.* Es necesario:

- Verificar el comportamiento del agua residual en el proceso de electrocoagulación en un proceso continuo, utilizando placas de aluminio y hierro ubicadas en recipientes separados.
- Observar el comportamiento en el proceso al utilizar un cargador de batería de 1100 W.
- Analizar los resultados después del proceso en cada recipiente electrolítico.
- Determinar el tiempo estimado para poder remover el color del agua residual.

Materiales

- Muestra compuesta de agua residual
- 12 electrodos de aluminio de (25 x 10 x 1)cm
- 12 electrodos de acero de (25 x 10 x 0,6)cm
- 3 recipientes plásticos de 25 litros cortado verticalmente a una altura de 28 cm

- Manguera para conexiones
- 1 balde
- Un soporte para poder ubicar las placas separadas a 2 cm.
- Cargador de batería de 1100 watio, a 12 Vcc.
- Lagartos
- Multímetro
- Jeringuilla

Procedimiento

- Ubicar las placas solo de acero en un recipiente y las de aluminio en otro.
- Realizar las conexiones eléctricas correspondientes
- Ubicar los recipientes de la siguiente manera: Primero el recipiente con los electrodos de acero, seguido de un recipiente vacío para poder sedimentar los flóculos y por ultimo un recipiente con los electrodos de aluminio.
- Conectar los lagartos del cargador de batería a los electrodos.
- Encender el cargador.
- Verter el agua mediante una manguera regulando el caudal deseado para comenzar el proceso.

Fig. 27. Prueba con electrodos de aluminio y acero



Fuente: Autores

Resultados

- Se comprobó que el proceso no es tan eficiente porque el agua toma una coloración verdosa.
- Al pasar por el recipiente de sedimentación se notó que los flóculos no permanecen el tiempo suficiente para sedimentarse.

- El agua se clarifica al pasar por el recipiente con los electrodos de aluminio, pero el color verdoso permanece.

Fig. 28. Resultado con electrodos de aluminio y acero



Fuente: Autores

Conclusión

- Se obtiene un color verdoso en el agua tratada.
- El cargador de batería suministra la corriente suficiente para la prueba.
- De la misma manera que en las pruebas anteriores el tiempo de remoción de flóculos depende del caudal con el que ingrese el agua al proceso.

6.2.5 *Prueba de determinación del comportamiento de la corriente eléctrica con carga.* Se debe determinar intensidad de corriente requerida para procesar 20 litros de agua residual.

Materiales

- Muestra compuesta de agua residual
- 3 pares electrodos de Aluminio de (27 x 4 x 1) cm
- Recipiente de vidrio de 30 x 30 x 22,5 cm
- Fuente de poder variable, 1-18 V, 4 A.
- Lagartos
- Multímetro

Procedimiento

- Ubicar los 3 pares de electrodos en el recipiente de forma lateral, separados a una distancia de 4 cm intercalados entre positivo y negativo.

- Verter 20 litros de agua residual.
- Conectar la fuente de poder y suministrar 5, 7, 9, 12 y 15 voltios, e ir midiendo el amperaje consumido con los distintos voltajes.

Fig. 29. Prueba para determinación de comportamiento de la corriente



Fuente: Autores

Resultados de la prueba

Fig. 30. Resultado para determinación de comportamiento de la corriente



Fuente: Autores

Resultados de análisis antes y después del tratamiento (ver Anexo C).

Tabla 34. Resultado de análisis antes y después del tratamiento

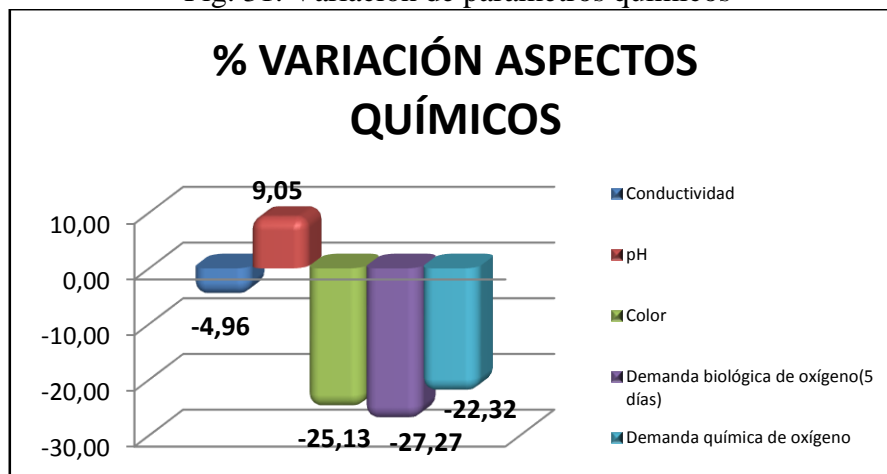
Parámetros	Unidades	Muestra del agua residual	Muestra del agua tratada	%
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	4230	4020	-4,96
pH	mg/L	7,18	7,83	9,05

1 de 2

Color	UTC	191	143	-25,13
DBO	mg/L	110	80	-27,27
DQO	mg/L	560	435	-22,32
				2 de 2

Fuente: Cestta

Fig. 31. Variación de parámetros químicos



Fuente: Autores

Tabla 35. Comportamiento del voltaje

Número de prueba	Voltaje sin carga V_e (voltios)	Voltaje con carga V_{cc} (voltios)	% de disminución de voltaje
1	5	1,46	29,2
2	7	1,67	23,9
3	9	2,12	23,6
4	12	2,51	20,9
5	15	2,62	17,5
Promedio			19,5

Fuente: Autores

Tabla 36. Comportamiento de la intensidad

Número de prueba	Intensidad experimental	Intensidad calculada	% de disminución de intensidad
1	0,53	0,9855	53,78
2	0,85	1,37	62,04
3	1,11	1,77	62,71
4	1,65	2,36	69,92
5	2,5	2,95	84,75
Promedio			66,64

Fuente: Autores

Tabla 37. Comportamiento de la potencia

N° de prueba	Potencia experimental	Potencia calculada	% de variación
1	0,77	4,93	15,70
2	1,42	9,59	14,80
3	2,35	15,93	14,77
4	4,14	28,32	14,62
5	6,55	44,25	14,80
Promedio			14,94

Fuente: Autores

Conclusiones

- Se incrementa el consumo de la corriente al existir mayor cantidad de agua.
- Se logra una importante remoción del color, turbidez, demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno.
- El pH aumenta ligeramente, debido a las reacciones químicas que se producen durante el tratamiento.
- La conductividad está directamente relacionada con la cantidad de sales utilizado para la fijación del color en el proceso de tinturado.

6.2.6 *Prueba de electrocoagulación con electrodos combinados de acero y aluminio en proceso continuo con el prototipo semi-automatizado.* Es necesario :

- Determinar la efectividad del proceso de electrocoagulación combinando placas de acero y aluminio en un proceso continuo.
- Determinar el caudal óptimo de funcionamiento.
- Determinar el comportamiento de la corriente con respecto a los resultados obtenidos.
- Determinar el tiempo necesario para poder llegar a los parámetros establecidos según la norma.

Equipos y herramientas

- Prototipo

- Regulador de voltaje de corriente continua de 1-50V y 50 A.
- Sedimentador
- Tanque ecualizador de agua residual.
- Tubos de ensayo
- Tamiz
- Multímetro
- Cronómetro

Procedimiento

- Se toma una muestra compuesta de agua residual.
- Instalar los equipos con sus respectivas conexiones tanto como en tubería como en el sistema eléctrico.
- Hacer las combinaciones de los pares de electrodos aluminio-acero con los separadores de nylon.
- Colocar los electrodos en la celda realizando las respectivas conexiones eléctricas.
- Colocar el tamiz antes de verter el agua.
- Encender los equipos.
- Registrar los datos de corriente, caudal y tiempo.
- Detener el proceso

Una vez concluidas las pruebas, es indispensable realizar un análisis de los parámetros críticos que no cumplen la norma, el mismo indicara si podrá ser vertido el agua al sistema de alcantarillado sin violar la normativa legal (ver Anexo D)

Tabla 38. Resultados analíticos del agua residual

Resultados analíticos			
Parámetros	Unidad	Resultado	V.L.P
Conductividad eléctrica	μS/cm	6230	-
Potencial de Hidrógeno	pH	7,35	5 - 9
*Color	Pt/Co	974,1	100
DBO	mg/L	208	250
DQO	mg/L	534	500

Fuente: Cestta

Prueba N°1

En el primer experimento se trabajó con los siguientes datos:

$$Q = 6,5 \text{ lt/min}$$

$$V = 22 \text{ V}$$

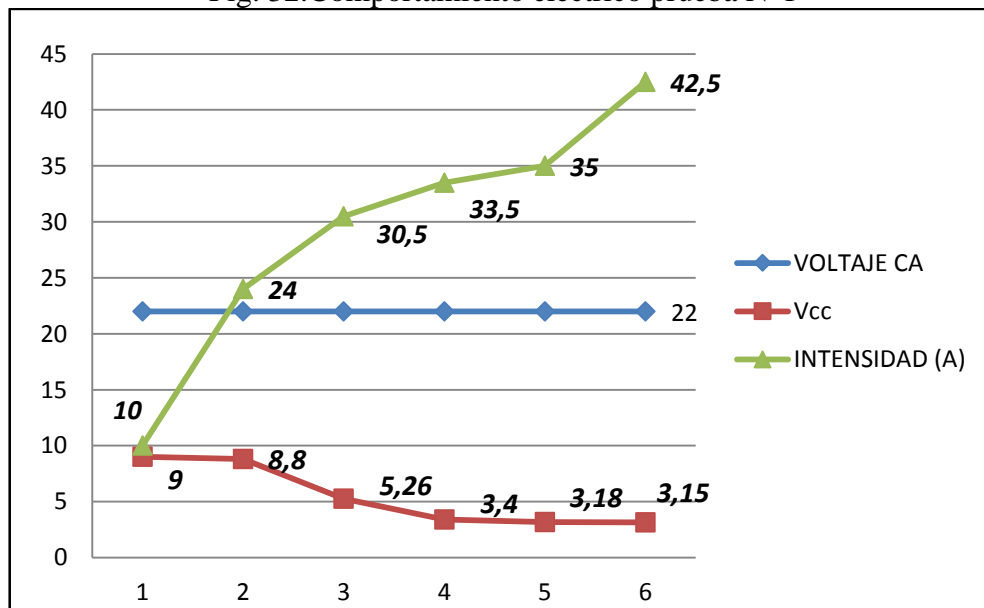
Resultados de los datos del comportamiento eléctrico

Tabla 39. Resultado del comportamiento eléctrico Prueba N°1

Experimento 1							
Sub-celda	Tiempo celda [min]	Voltaje ca [V]	Vcc [V]	Intensidad (A)	% variación Vcc	% variación intensidad	Potencia [W]
0	0	22	9	10	0	0	90,0
1	2		8,8	24	-2,22	140,0	211,2
2	2		5,26	30,5	-40,23	27,1	160,4
3	3		3,4	33,5	-35,36	9,8	113,9
4	2		3,18	35	-6,47	4,5	111,3
5	3		3,15	42,5	-0,94	21,4	133,9
Total	12			Promedio	-17,0	40,6	

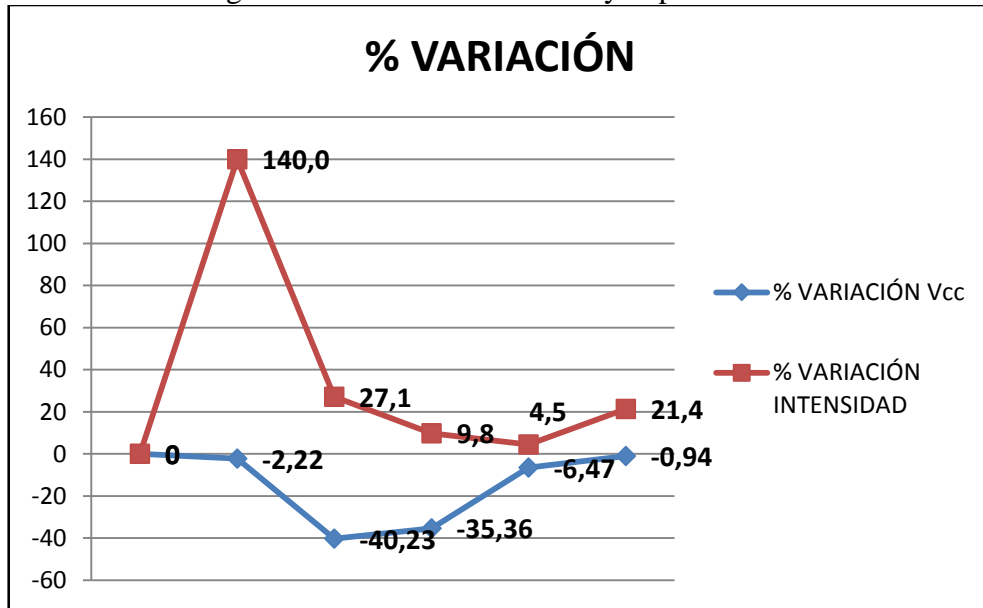
Fuente: Autores

Fig. 32. Comportamiento eléctrico prueba N°1



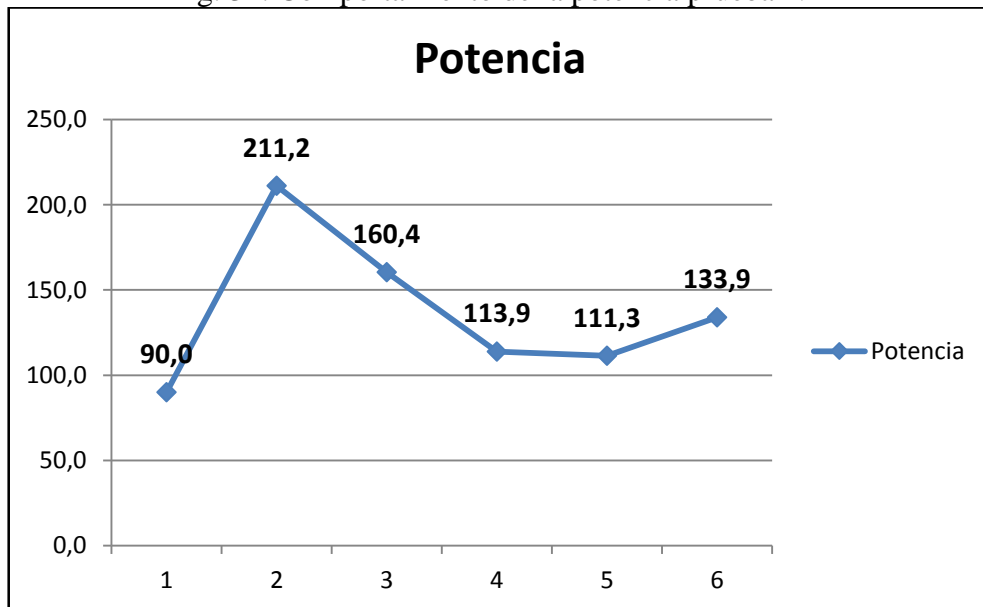
Fuente: Autores

Fig. 33. % de variación de Vcc y A prueba N°1



Fuente: Autores

Fig. 34. Comportamiento de la potencia prueba N°1



Fuente: Autores

Conclusiones del comportamiento eléctrico

- Se aprecia que se incrementa el consumo de corriente, según existe más agua en la celda.
- El comportamiento de la intensidad, se incrementa en un 140% en las primeras celdas pero a medida que transcurre el tiempo tiende a estabilizarse.

- Con el voltaje tenemos un comportamiento de disminución, en este caso en las primeras celdas tiende a bajar hasta a un 40,23% pero después se estabiliza.
- Con la potencia tenemos el mismo comportamiento ya que este es un resultado de la intensidad por el voltaje, al iniciar el proceso se dispara hasta 211,2 W, pero luego se estabiliza en los 111,3 W.

Resultado químicos

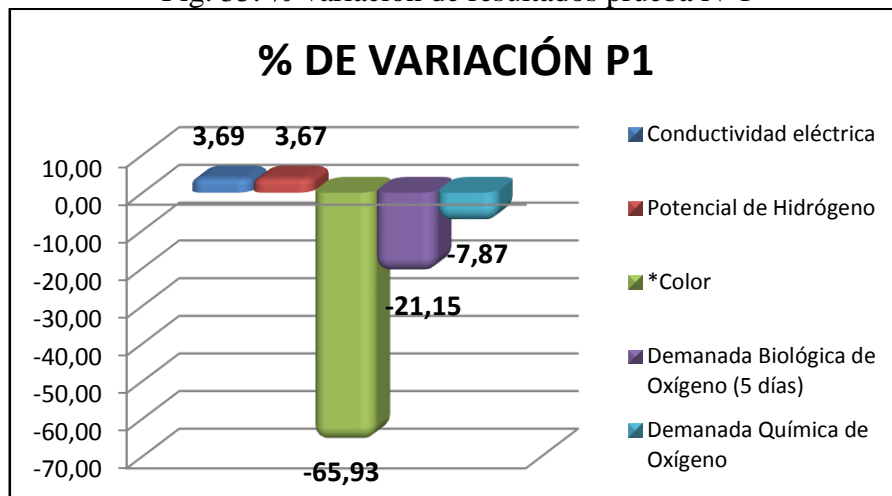
En la siguiente tabla se encuentran los resultados que se obtuvieron después del tratamiento, además también se encuentra el valor permisible por la norma y se ha calculado el porcentaje de variación obtenido con respecto a la muestra de agua inicial (ver Anexo E).

Tabla 40. Resultados químicos Prueba N° 1

RESULTADOS ANALÍTICOS					
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO MAR	RESULTADO P1	% VARIACIÓN
Conductividad eléctrica	μS/cm	0	6230	6460	3,69
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	5-9	7,35	7,62	3,67
*Color	Pt/Co	100	974,1	331,86	-65,93
DBO	mg/L	250	208	164	-21,15
DQO	mg/L	500	534	492	-7,87

Fuente: Cestta

Fig. 35. % variación de resultados prueba N°1



Fuente: Autores

Conclusión de resultados químicos

- El tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación resulta ser el único método que permite la remoción del color.
- La conductividad del agua incrementa un 3,69%, es útil si se tiene como finalidad reutilizar el agua en el proceso de lavado de jeans ya que la conductividad tiene relación con las sales disueltas, y en el proceso de lavado de jeans se utiliza sal industrial.
- El pH incrementa un 3,67% pero se encuentra dentro de los límites permisibles.
- En el color tenemos una disminución de un 65,93%.
- El DBO₅ y el DQO disminuyen en un 21,15 y 7,87% respectivamente.

Prueba N°2

En el primer experimento se trabajó con los siguientes datos:

$$Q = 10,7 \text{ lt/min}$$

$$V = 22 \text{ V}$$

Resultados de los datos del comportamiento eléctrico

Tabla 41. Resultado del comportamiento eléctrico Prueba N°2

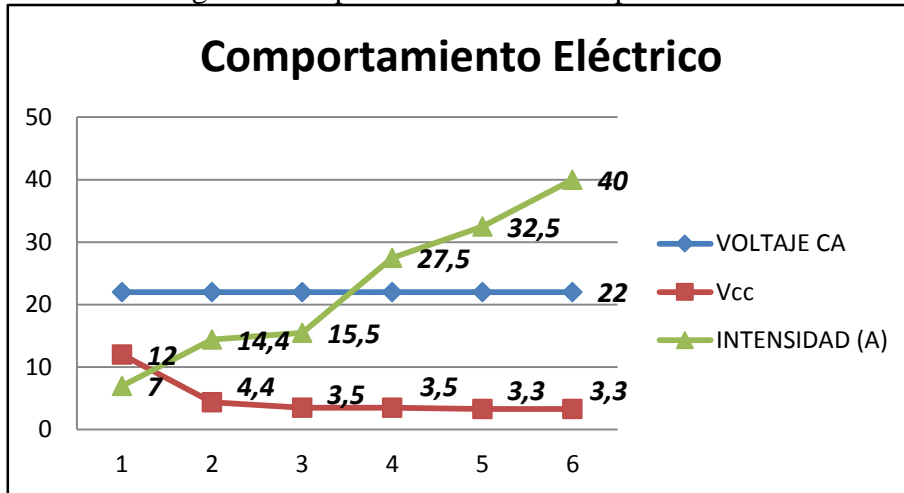
Prueba N° 2							
SUB-CELDA	TIEMPO CELDA [min]	VOLTAJE CA[V]	Vcc [V]	INTENSIDAD [A]	% VARIACIÓN Vcc	% VARIACIÓN INTENSIDAD	POTENCIA [W]
0	0	22	12	7	0	0	84
1	1		4,4	14,4	-63,3	105,7	63,36
2	1		3,5	15,5	-20,5	7,6	54,25
3	1		3,5	27,5	0,0	77,4	96,25
4	1		3,3	32,5	-5,7	18,2	107,25
5	1		3,3	40	0,0	23,1	132
Total	5			Promedio	-17,9	46,4	

Fuente: Autores

Con los datos obtenidos en la primera prueba, la permanencia del agua es de 5 minutos.

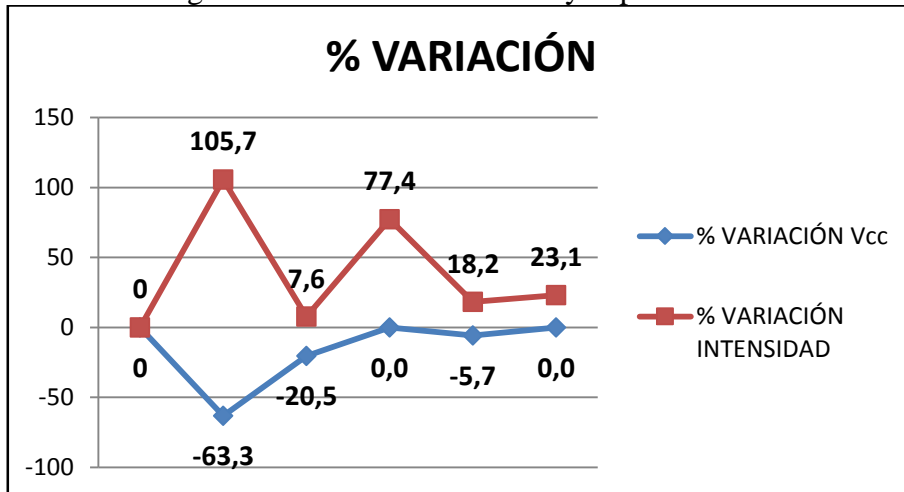
Además para poder tener una mejor interpretación se procedió a realizar un análisis de la variación del voltaje y de la intensidad.

Fig. 36. Comportamiento eléctrico prueba N°2



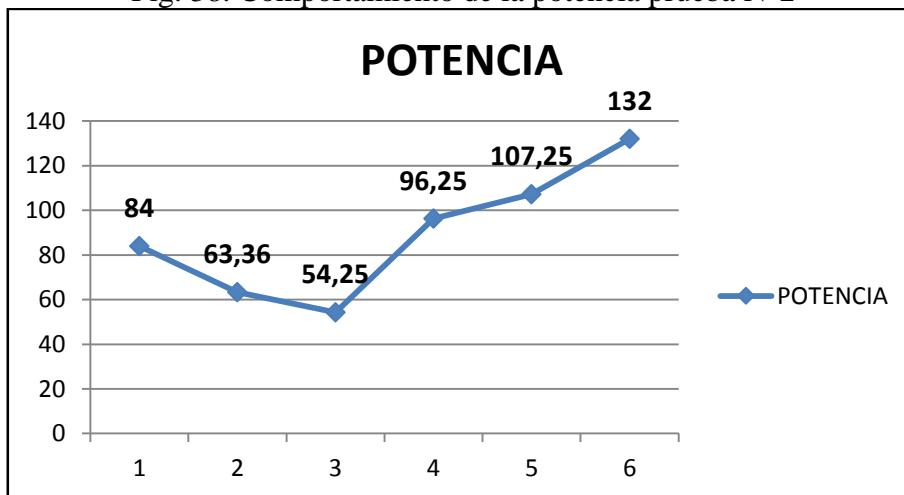
Fuente: Autores

Fig. 37. % de variación de Vcc y A prueba N°2



Fuente: Autores

Fig. 38. Comportamiento de la potencia prueba N°2



Fuente: Autores

Conclusiones del comportamiento eléctrico:

- La intensidad tiende a incrementarse según aumenta la cantidad de agua en la celda de electrocoagulación, es decir, el consumo de intensidad es directamente proporcional a la cantidad de agua que se vaya a tratar, mientras que con el voltaje tenemos el caso contrario.
- Con el voltaje tenemos un comportamiento de disminución, en este caso en las primeras subceldas tiende a disminuir hasta un 63,3% pero después se estabiliza.
- La potencia es mínima al inicio del proceso pero al final comienza a ascender hasta 132W.

Resultado químicos

En la siguiente tabla se encuentra los resultado que se obtuvieron después de tratar el aguan con los datos anteriormente mencionados.

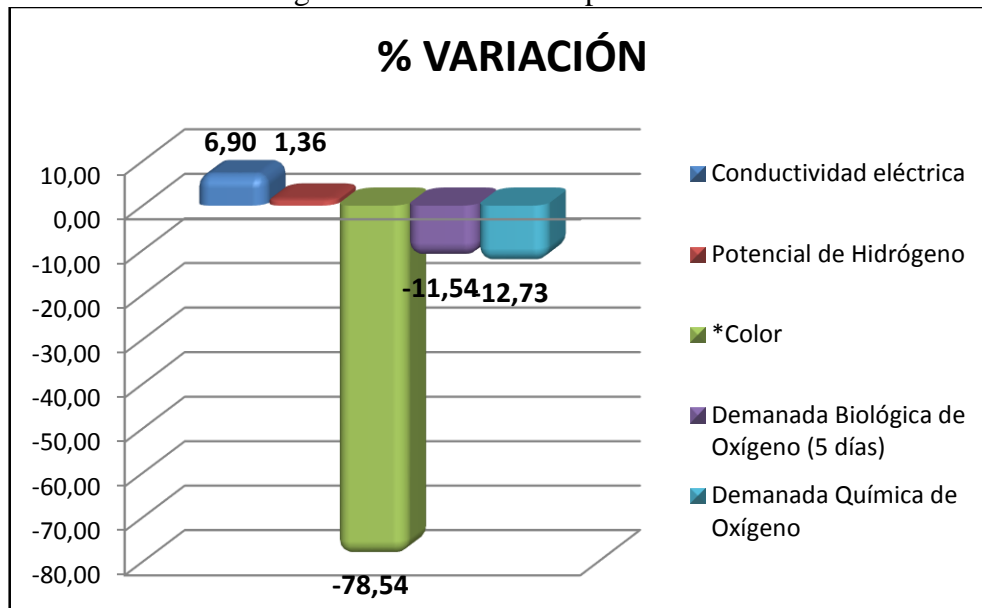
Además también se encuentra el valor permisible por la norma y se ha calculado el porcentaje de variación obtenido con respecto a la muestra de agua inicial (ver Anexo F).

Tabla 42. Resultados químicos Prueba N° 2

RESULTADOS ANALÍTICOS					
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO MAR	RESULTADO P2	% VARIACIÓN
Conductividad eléctrica	μS/cm	0	6230	6660	6,90
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	9	7,35	7,45	1,36
*Color	Pt/Co	100	974,1	209,04	-78,54
DBO	mg/L	250	208	184	-11,54
DQO	mg/L	500	534	466	-12,73

Fuente: Cestta

Fig. 39. % de resultados prueba N°2



Fuente: Autores

Conclusión de resultados químicos

- La reducción de los porcentajes de los parámetros son significativos.
- La conductividad incrementa un 6,9% pero este parámetro es útil, si se tiene como finalidad reutilizar el agua.
- El pH incrementa un 1,36% pero se encuentra entre los límites permisibles.
- En el color tenemos una disminución de un 78,54%.
- El DBO₅ y el DQO también tenemos una disminución en un 11,54 y 12,73% respectivamente.

Prueba N°3

En el primer experimento se trabajó con los siguientes datos:

Q = 4 lt/min

V = 22V

Resultados de los datos del comportamiento eléctrico

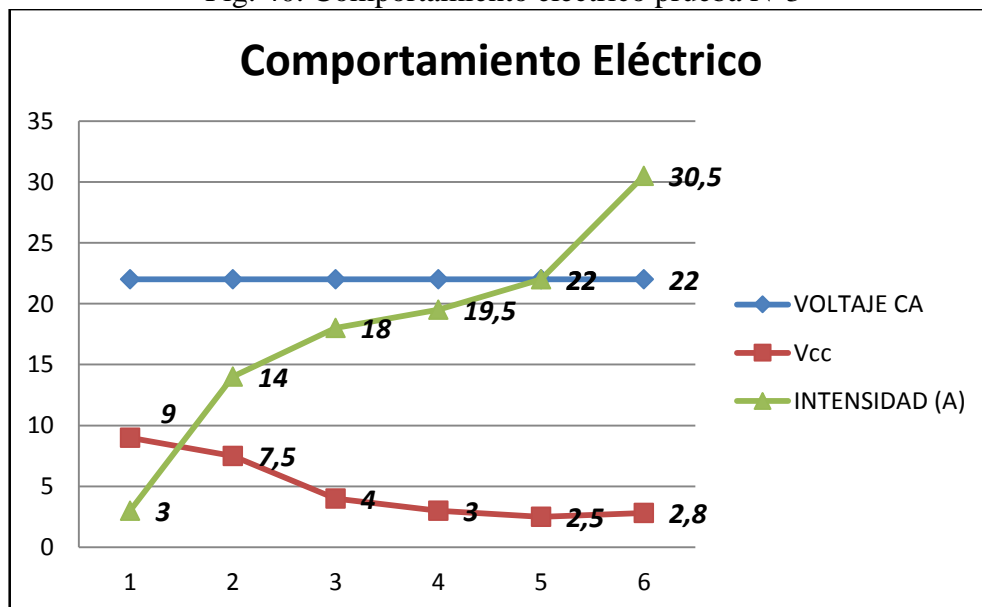
Tabla 43. Resultados del comportamiento eléctrico Prueba N°3

EXPERIMENTO 3							
SUB-CELDA	TIEMPO CELDA [min]	VOLTAJE CA [V]	Vcc [V]	INTENSIDAD [A]	% VARIACIÓN Vcc	% VARIACIÓN INTENSIDAD	POTENCIA [W]
0	0	22	9	3	0	0	27
1	5	22	7,5	14	-16,7	366,7	105
2	5	22	4	18	-46,7	28,6	72
3	5	22	3	19,5	-25,0	8,3	58,5
4	5	22	2,5	22	-16,7	12,8	55
5	5	22	2,8	30,5	12,0	38,6	85,4
Total	25			Promedio	-18,6	91,0	

Fuente: Autores

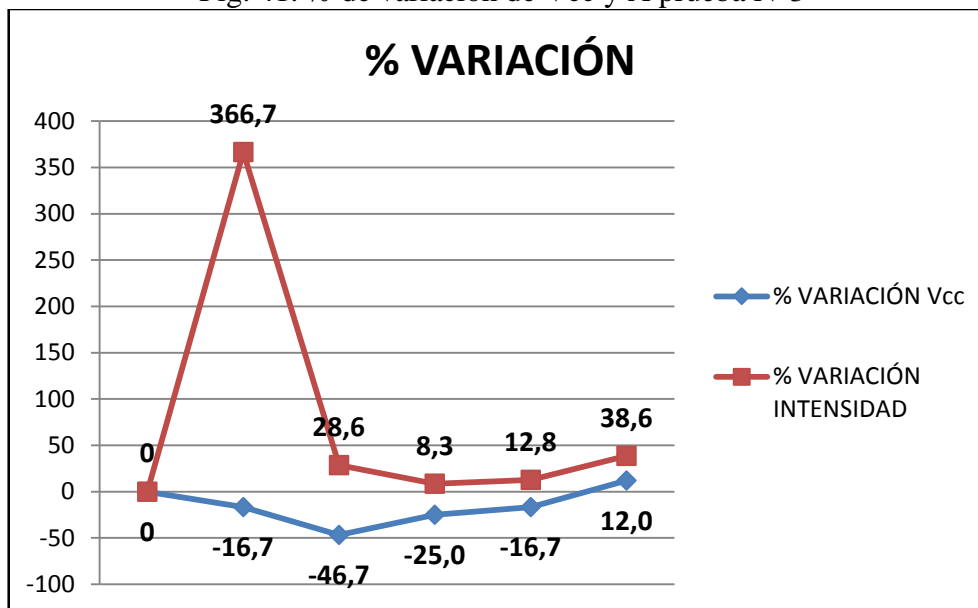
Con un caudal de 4 lt/min el agua se tardó 25 minutos en pasar por la celda, además para poner tener una mejor interpretación se procedió a realizar un análisis de la variación del voltaje y de la intensidad.

Fig. 40. Comportamiento eléctrico prueba N°3



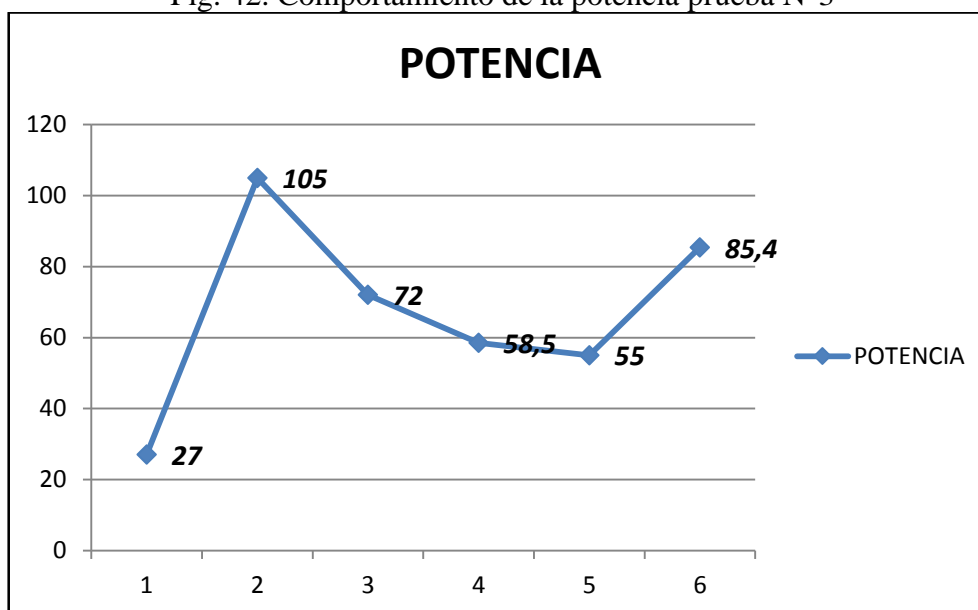
Fuente: Autores

Fig. 41. % de variación de Vcc y A prueba N°3



Fuente: Autores

Fig. 42. Comportamiento de la potencia prueba N°3



Fuente: Autores

Conclusiones del comportamiento eléctrico

- Como podemos apreciar la intensidad tiende a incrementarse según se vaya aumentando la cantidad de agua en la celda, es decir, el consumo de intensidad es directamente proporcional a la cantidad de agua que se vaya a tratar, en cambio con el voltaje tenemos el caso contrario.

- La intensidad incrementa en un 366% en las primeras celdas pero a medida que transcurre el tiempo tiende a estabilizarse.
- Con la intensidad tenemos un comportamiento de disminución, en este caso en las primeras subceldas tiende a disminuir hasta un 46,7% pero después se estabiliza.
- En este caso tenemos que el comportamiento de la potencia aumenta inicialmente generando un pico hasta 105 W y tiene a estabilizarse en los 58,5 W.

Resultado químicos

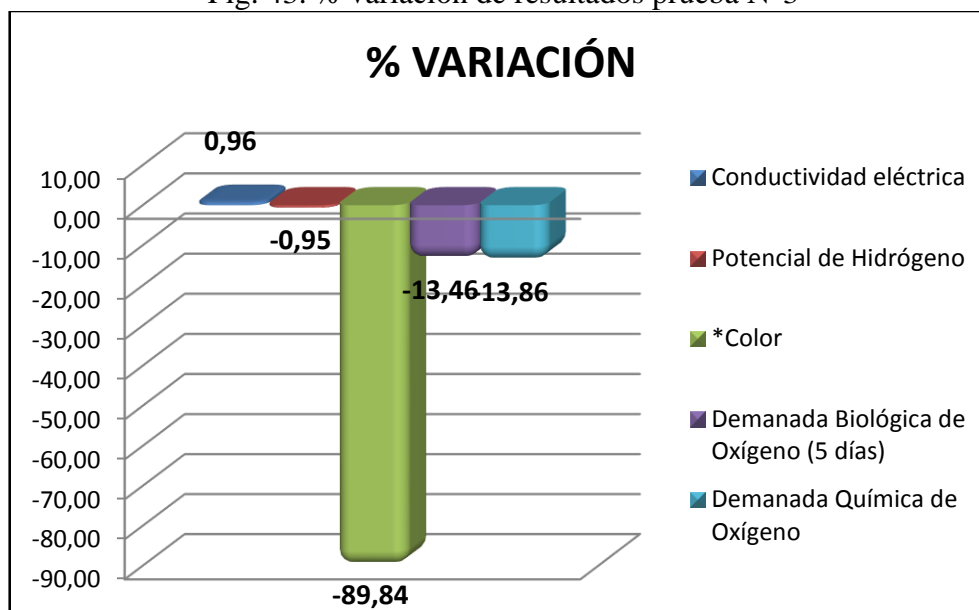
En la siguiente tabla se encuentra los resultado que se obtuvieron después de tratar el agua, además también se encuentra el valor permisible por la norma y se ha calculado el porcentaje de variación obtenido con respecto a la muestra de agua inicial (ver Anexo G).

Tabla 44. Resultados químicos Prueba N°3

RESULTADOS ANALÍTICOS					
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO MAR	RESULTADO P3	% VARIACIÓN
Conductividad eléctrica	μS/cm	0	6230	6290	0,96
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	9	7,35	7,28	-0,95
*Color	Pt/Co	100	974,1	99,01	-89,84
Demanda Biológica de Oxígeno (5 días)	mg/L	250	208	180	-13,46
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500	534	460	-13,86

Fuente: Cestta

Fig. 43. % variación de resultados prueba N°3



Fuente: Autores

Conclusión de resultados químicos

- La conductividad incrementa en un 0,96%.
- El pH disminuye en un 0,95% pero se encuentra entre los límites permisibles.
- En el color tenemos una reducción de un 89,84%.
- En el DBO₅ y el DQO tenemos una disminución en un 13,46 y 13,86% respectivamente.
- Todos los parámetros se encuentran bajo los límites permisibles para descarga al sistema de alcantarillado.

Prueba N°4

En el experimento se trabajó con los siguientes datos:

$$Q = 4 \text{ lt/min}$$

$$V = 30V$$

En esta prueba se tomaron datos de las llaves que se encuentra en cada subcelda para poder saber cuál es el comportamiento de la intensidad eléctrica a medida que la misma transcurre por toda la tina de electrocoagulación.

Resultados de los datos del comportamiento eléctrico

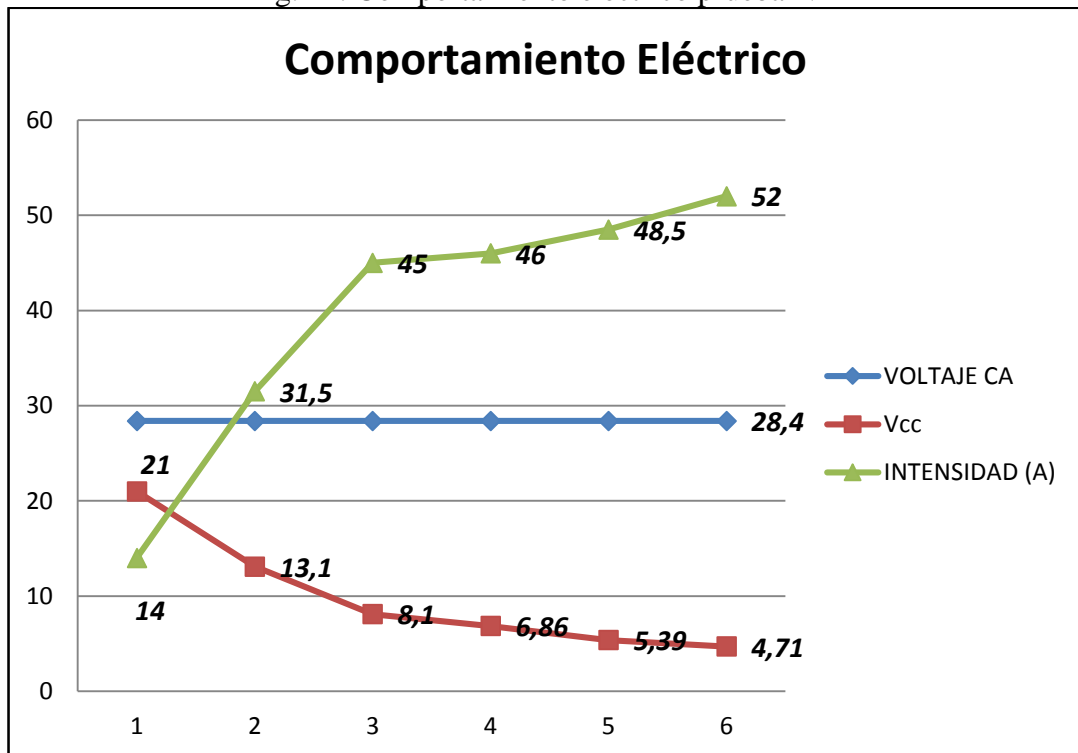
Tabla 45. Resultado del comportamiento eléctrico Prueba N°4

EXPERIMENTO 4							
Sub-celda	Tiempo celda [min]	voltaje ca[V]	Vcc [V]	Intensidad [A]	% variación Vcc	% variación intensidad	Potencia [W]
INICIO	0	30	21	14	0	0	294
1	4		13,1	31,5	-37,6	125	412,65
2	4		8,1	45	-38,2	42,9	364,5
3	4		6,86	46	-15,3	2,2	315,56
4	4		5,39	48,5	-21,4	5,4	261,415
5	4		4,71	52	-12,6	7,2	244,92
Total	20			Promedio	-25,0	36,5	

Fuente: Autores

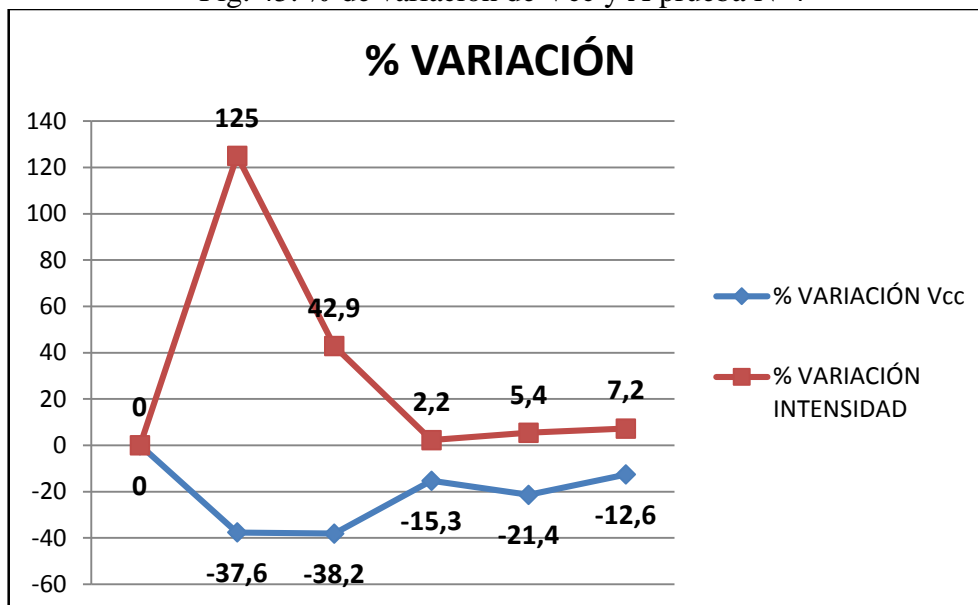
Con un caudal de 4 lt/min el agua se tardó 20 minutos en pasar por la celda.

Fig. 44. Comportamiento eléctrico prueba N°4



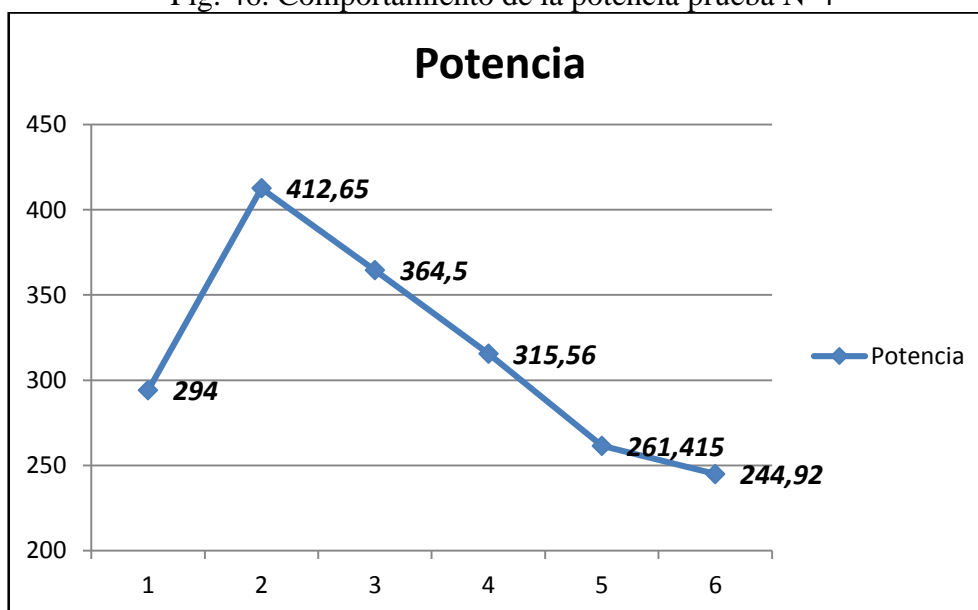
Fuente: Autores

Fig. 45. % de variación de Vcc y A prueba N°4



Fuente: Autores

Fig. 46. Comportamiento de la potencia prueba N°4



Fuente: Autores

Conclusiones del comportamiento eléctrico

- La intensidad tiende a incrementarse según se vaya aumentando la cantidad de agua.
- La intensidad incrementa en un 125% en las primeras celdas pero a medida que transcurre el tiempo tiende a estabilizarse.
- En este caso tenemos que el comportamiento de la potencia aumentado inicialmente generando un pico de 412,65 W y tiene a decaer hasta los 244,92 W al final.

Resultado químicos

En la siguiente tabla se encuentra los resultados que se obtuvieron en cada llave colocada en cada subcelda, además también se encuentra el valor permisible por la norma y se ha calculado el porcentaje de variación obtenido con respecto a la muestra de agua inicial (ver Anexo H).

Subcelda N°1

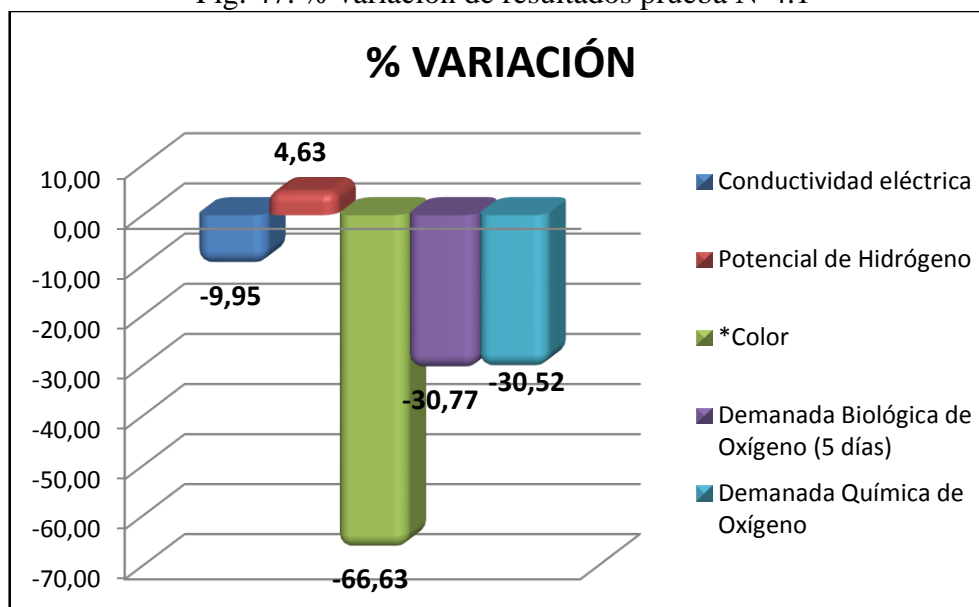
Los resultados tomados en la primer subcelda son los siguientes (ver Anexo H).

Tabla 46. Resultados químicos, Prueba N°4, subcelda 1

RESULTADOS ANALÍTICOS					
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO MAR	RESULTADO	% VARIACIÓN
Conductividad eléctrica	μS/cm	0	6230	5610	-9,95
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	9	7,35	7,69	4,63
*Color	Pt/Co	100	974,1	325,03	-66,63
DBO	mg/L	250	208	144	-30,77
DQO	mg/L	500	534	371	-30,52

Fuente: Cestta

Fig. 47. % variación de resultados prueba N°4.1



Fuente: Autores

Conclusión de resultados químicos

- En las primeras llaves podemos apreciar que casi todos los parámetros se encuentran bajo los límites permisibles, excepto el color ese parámetro todavía se encuentra por encima del límite permisible.
- En el caso de la conductividad tenemos una disminución del 9,95%.
- El pH es el factor que aumenta en un 4,63% pero se encuentra entre los límites permisibles.
- En el color tenemos una reducción del 66,63%.
- En el DBO₅ y el DQO tenemos una disminución en un 30,77% y 30,52% respectivamente.

Subcelda N°2

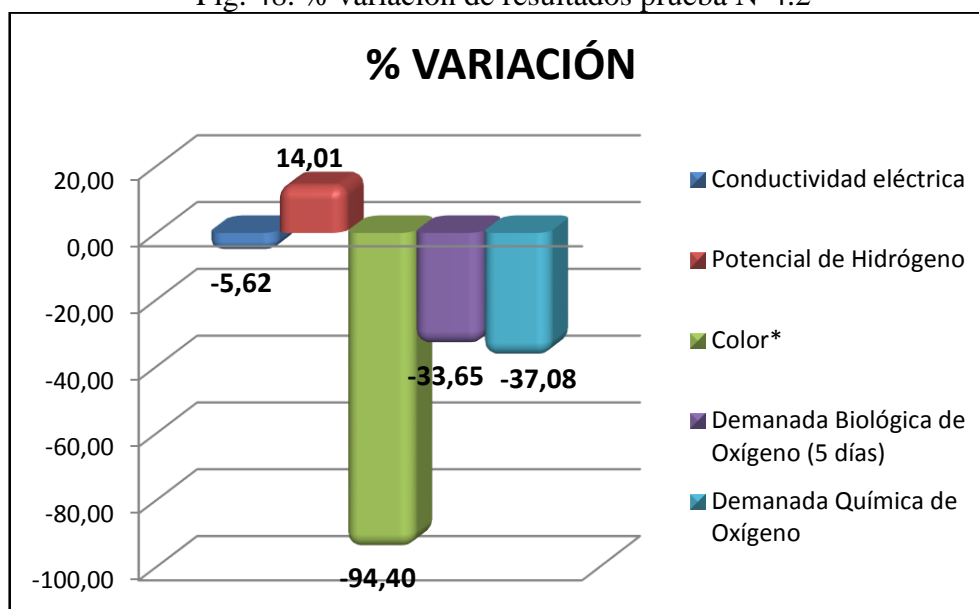
Los resultados tomados en la primer subcelda son los siguientes (ver Anexo I).

Tabla 47. Resultados químicos, Prueba N°4, subcelda 2

RESULTADOS ANALÍTICOS					
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO MAR	RESULTADO	% VARIACIÓN
Conductividad eléctrica	μS/cm	0	6230	5880	-5,62
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	9	7,35	8,38	14,01
Color*	Pt/Co	100	974,1	54,51	-94,40
DBO	mg/L	250	208	138	-33,65
DQO	mg/L	500	534	336	-37,08

Fuente: Cestta

Fig. 48. % variación de resultados prueba N°4.2



Fuente: Autores

Conclusión de resultados químicos

- En la segunda llave podemos apreciar que todos los parámetros se encuentran bajo los límites permisibles.
- En el caso de la conductividad tenemos una disminución del 5,62%.
- El pH aumenta en un 14,01% pero se encuentra entre los límites permisibles.
- En el color tenemos una reducción en un 94,40%.
- En el DBO₅ y el DQO tenemos una disminución en un 33,65% y 37,08% respectivamente.

Subcelda N°3

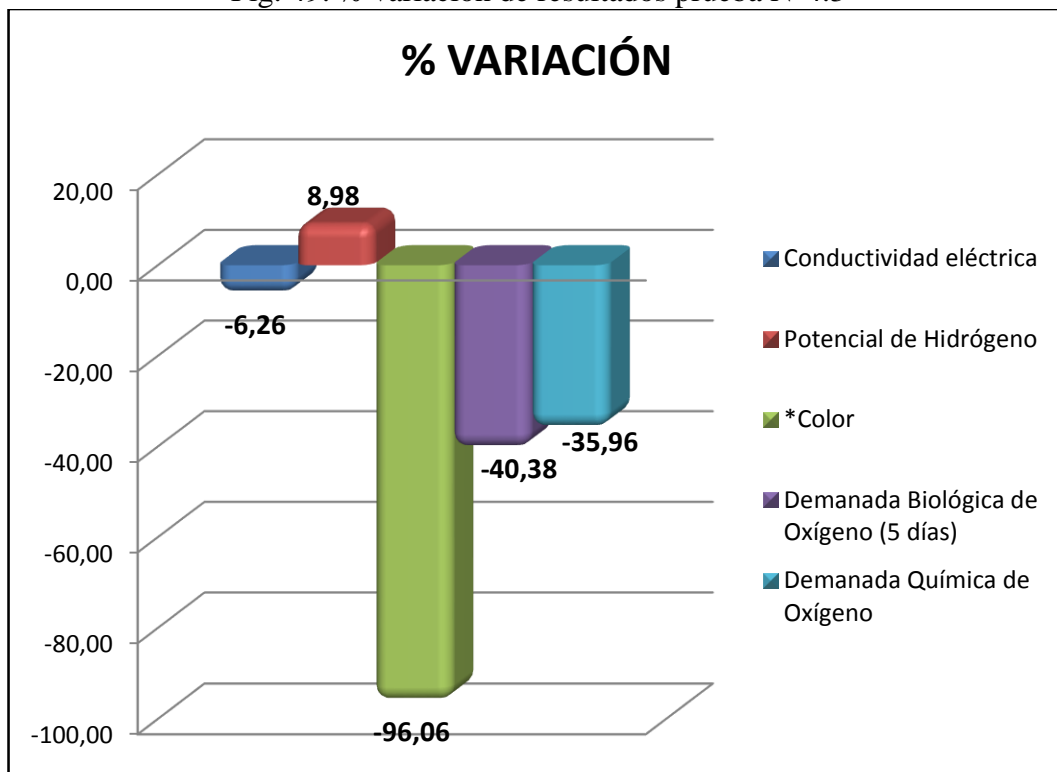
Los resultados tomados en la primer subcelda son los siguientes (ver Anexo J).

Tabla 48. Resultados químicos, Prueba N°4, subcelda 3

RESULTADOS ANALÍTICOS					
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO MAR	RESULTADO	% VARIACIÓN
Conductividad eléctrica	μS/cm	0	6230	5840	-6,26
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	5-9	7,35	8,01	8,98
*Color	Pt/Co	100	974,1	38,39	-96,06
DBO	mg/L	250	208	124	-40,38
DQO	mg/L	500	534	342	-35,96

Fuente: Cestta

Fig. 49. % variación de resultados prueba N°4.3



Fuente: Autores

Conclusión de resultados químicos

- En la tercera llave podemos apreciar que todos los parámetros se encuentran bajo los límites permisibles
- En el color tenemos una reducción de un 96,06%.

Subcelda N°4

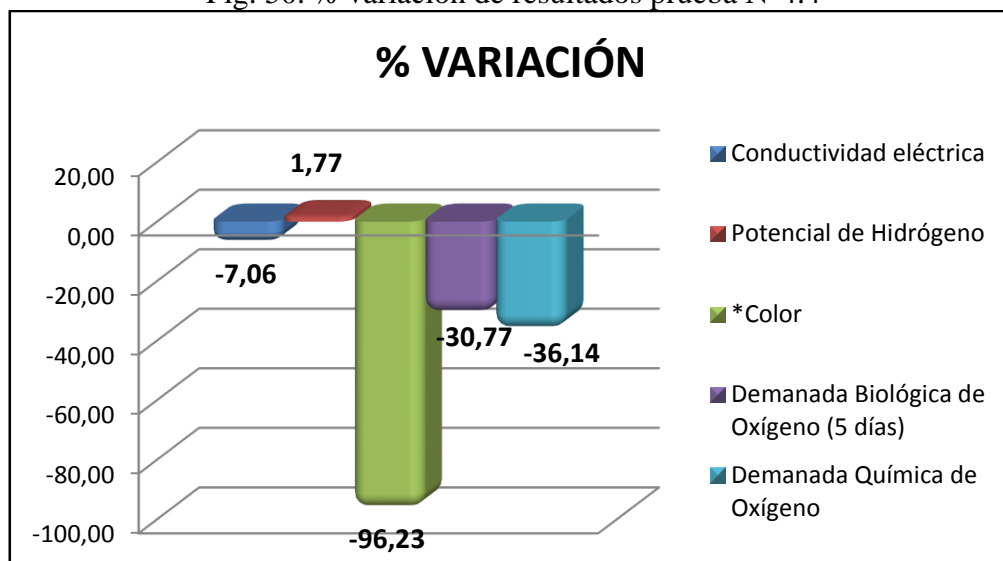
Los resultados tomados en la primer subcelda son los siguientes (ver Anexo K).

Tabla 49. Resultados químicos, Prueba N°4, subcelda 4

RESULTADOS ANALÍTICOS					
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO MAR	RESULTADO	% VARIACIÓN
Conductividad eléctrica	μS/cm	0	6230	5790	-7,06
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	5-9	7,35	7,48	1,77
*Color	Pt/Co	100	974,1	36,68	-96,23
DBO	mg/L	250	208	144	-30,77
DQO	mg/L	500	534	341	-36,14

Fuente: Cestta

Fig. 50. % variación de resultados prueba N°4.4



Fuente: Autores

Conclusión de resultados químicos

- En la cuarta llave podemos apreciar que casi todos los parámetros se encuentran bajo los límites permisibles.
- En el color disminuye en un 96,23%.

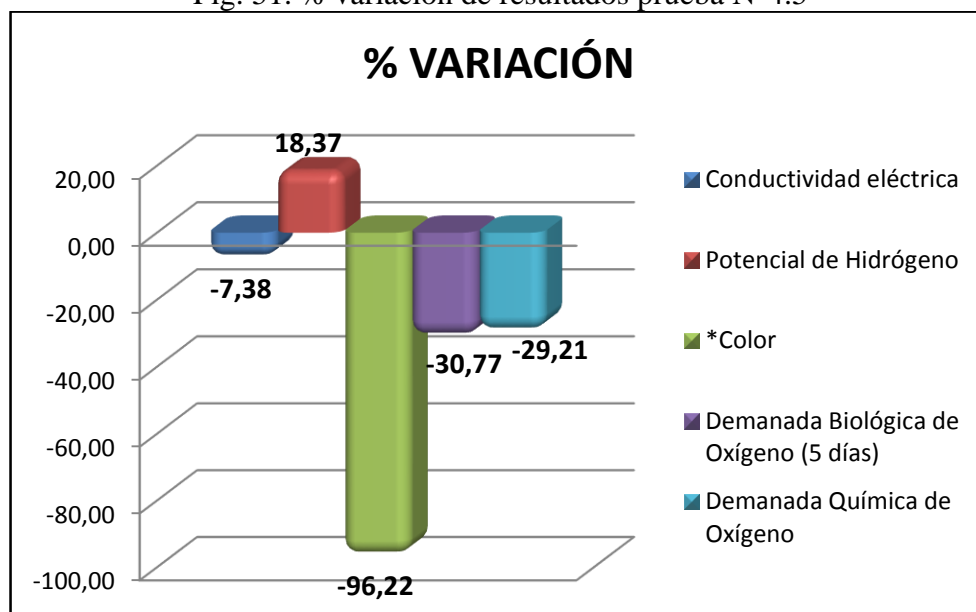
Subcelda N°5

Tabla 50. Resultados químicos, Prueba N°4, subcelda 5

RESULTADOS ANALÍTICOS					
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO MAR	RESULTADO	% VARIACIÓN
Conductividad eléctrica	μS/cm	0	6230	5770	-7,38
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	9	7,35	8,70	18,37
*Color	Pt/Co	100	974,1	36,85	-96,22
DBO	mg/L	250	208	144	-30,77
DQO	mg/L	500	534	378	-29,21

Fuente: Cestta

Fig. 51. % variación de resultados prueba N°4.5



Fuente: Autores

Conclusión de resultados químicos

- En la quinta llave podemos apreciar que casi todos los parámetros se encuentran bajo los límites permisibles.
- El pH aumenta en un 18,37% pero se encuentra entre los límites permisibles.
- En el color tenemos una reducción de un 96,22%.
- En el DBO₅ y el DQO también tenemos una disminución en un 30,77% y 29,21% respectivamente.

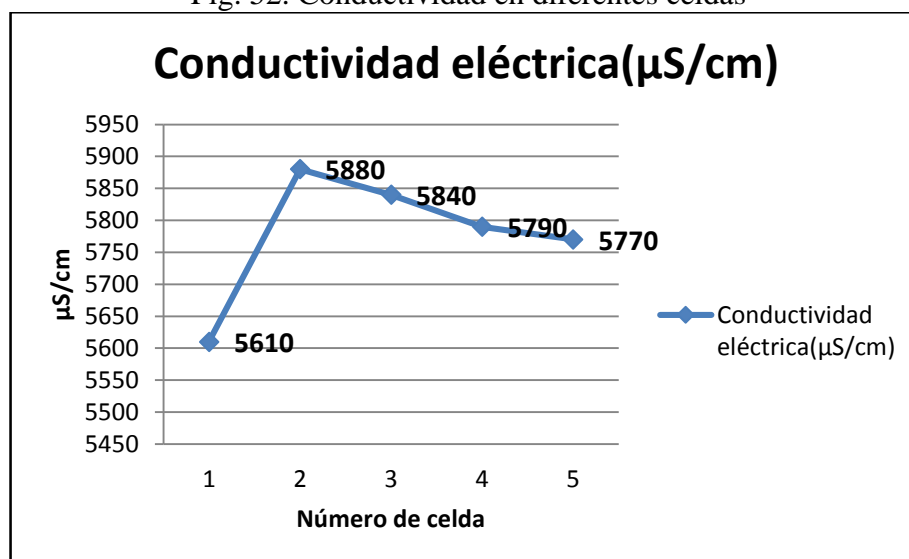
Gráficas del comportamiento de los parámetros críticos del agua en las diferentes etapas de la celda de electrocoagulación:

Tabla 51. Conductividad eléctrica, Prueba N°4

Número de celda	Conductividad eléctrica(μS/cm)
1	5610
2	5880
3	5840
4	5790
5	5770

Fuente: Autores

Fig. 52. Conductividad en diferentes celdas



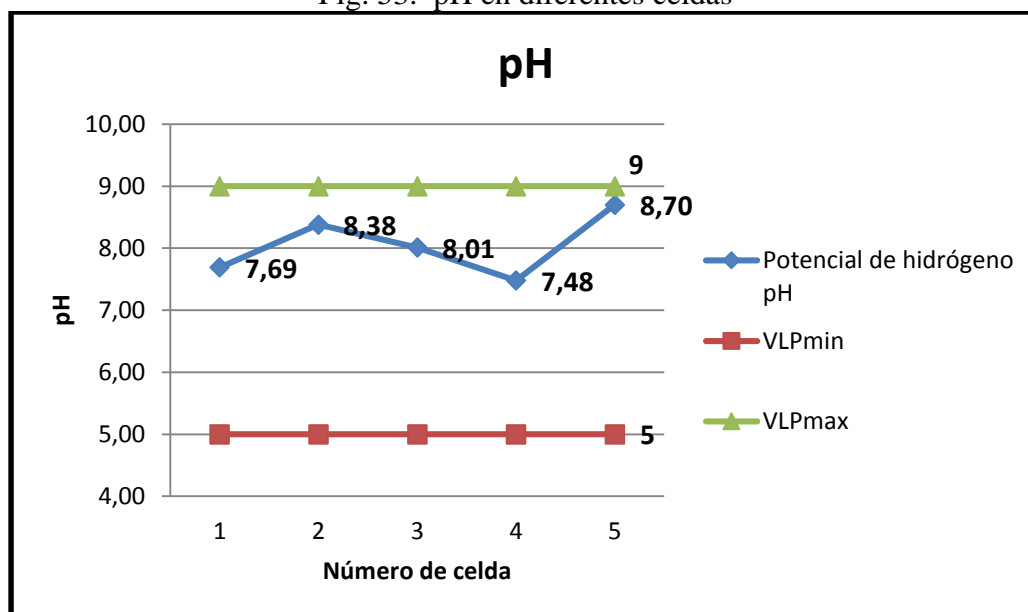
Fuente: Autores

Tabla 52. Potencial de hidrogeno, Prueba N°4

Número de celda	Potencial de hidrógeno pH	V.L.P min	V.L.P Max
1	7,69	5	9
2	8,38		
3	8,01		
4	7,48		
5	8,70		

Fuente: Autores

Fig. 53. pH en diferentes celdas



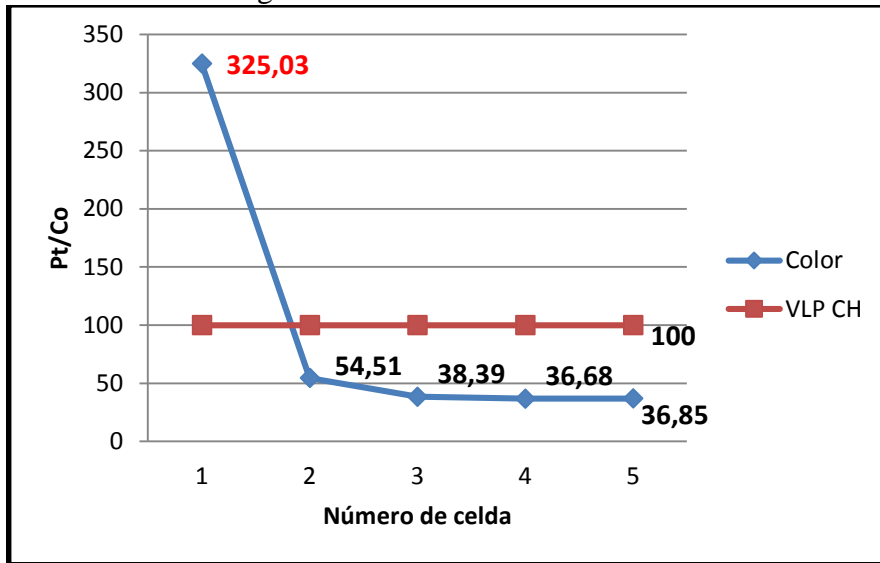
Fuente: Autores

Tabla 53. Color, Prueba N°4

Número de celda	Color (Pt/Co)	VLP CH
1	325,03	100
2	54,51	
3	38,39	
4	36,68	
5	36,85	

Fuente: Autores

Fig. 54. Color en diferentes celdas



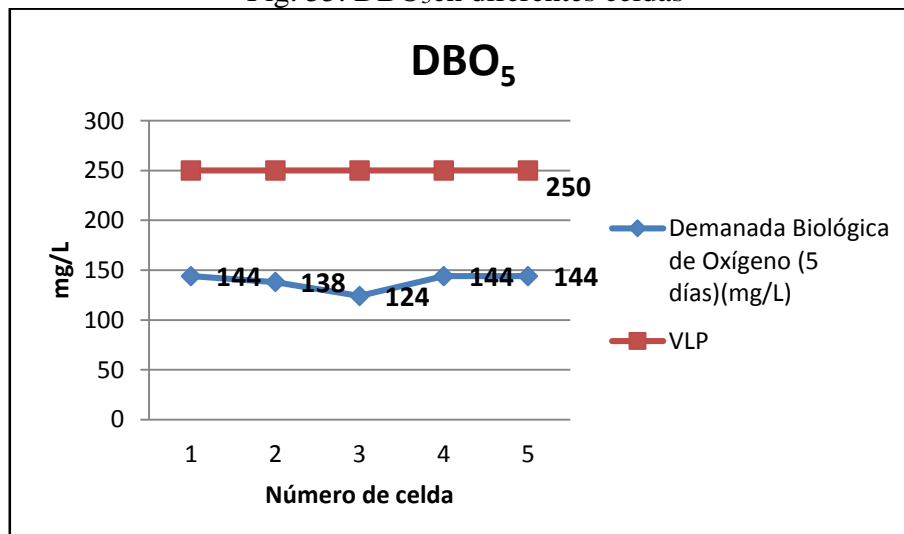
Fuente: Autores

Tabla 54. DBO₅, Prueba N°4

Número de celda	Demanda Biológica de Oxígeno (5 días)(mg/L)	VLP
1	144	250
2	138	
3	124	
4	144	
5	144	

Fuente: Autores

Fig. 55. DBO₅ en diferentes celdas



Fuente: Autores

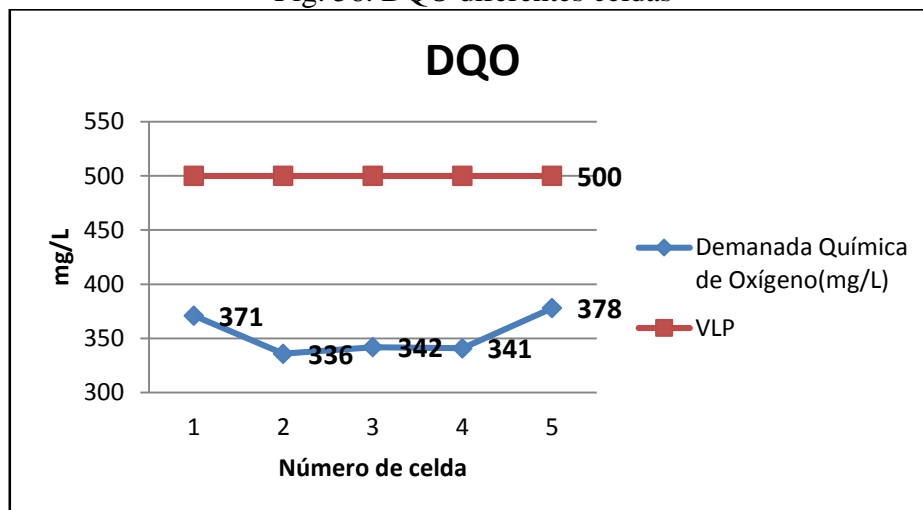
Demanda química de oxígeno

Tabla 55. DQO, Prueba N°4

Número de celda	Demanda Química de Oxígeno(mg/L)	VLP
1	371	500
2	336	
3	342	
4	341	
5	378	

Fuente: Autores

Fig. 56. DQO diferentes celdas



Fuente: Autores

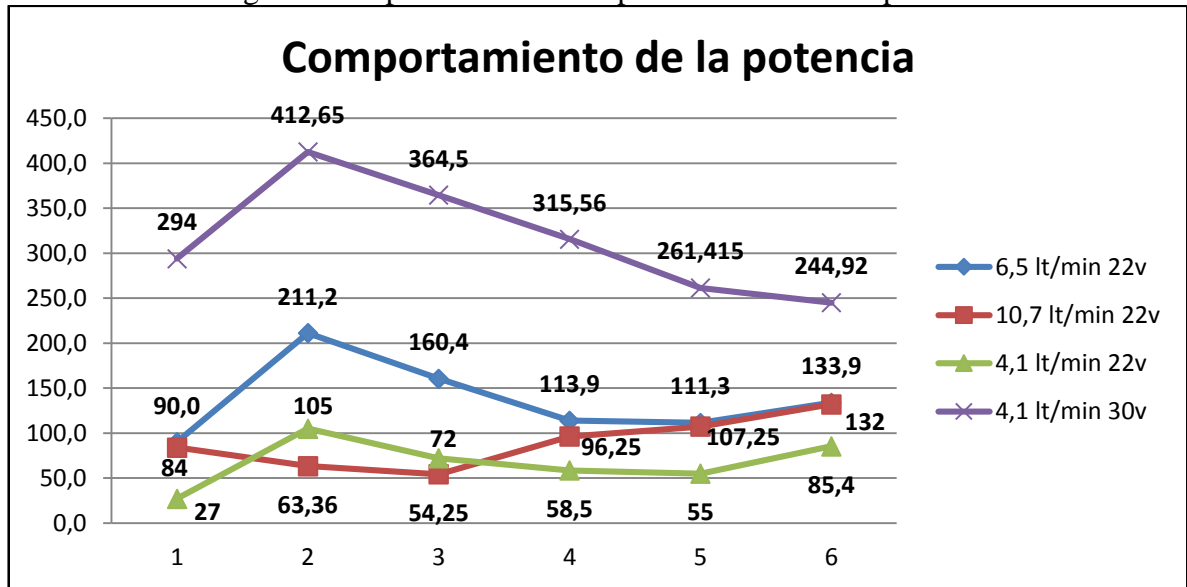
Conclusiones finales de las muestras tomadas de cada una de las subceldas de la tina de electrocoagulación

- La conductividad tiene al igual que el comportamiento eléctrico un pico el cual llega a 5880 y disminuye hasta 5770, lo cual indica que pasado el pico en la segunda subcelda, la tendencia que tiene la conductividad es de decaer.
- El pH tiene un comportamiento variable, puesto que no indica una tendencia, pero al final se muestra un aumento considerable mas no se sale de los límites permisibles.

- El color solo no se encuentra bajo los límites permisibles en la primera subcelda, pero desde la segunda celda los valores obtenidos son aceptables, incluso el color mientras pase por un mayor número de placas mayor será su remoción.

Análisis de todos los experimentos realizados

Fig. 57. Comportamiento de la potencia de todas las pruebas



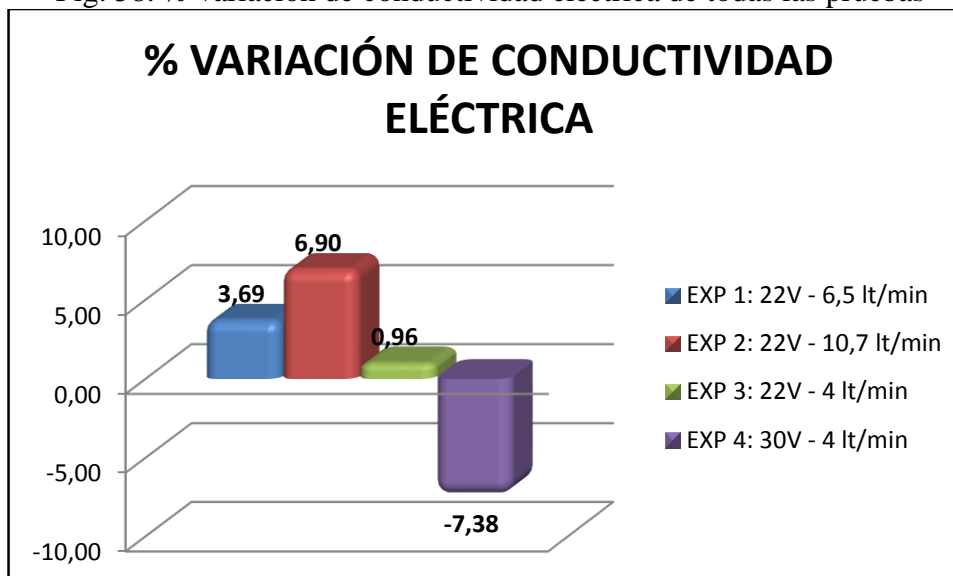
Fuente: Autores

Tabla 56. Resultado de conductividad eléctrica en todas las pruebas

Experimento	Conductividad eléctrica($\mu\text{S}/\text{cm}$)	% variación	Vcc	Caudal (lt/min)
MC	6230	0	0	0
EXP 1: 22V - 6,5 lt/min	6460	3,69	22	6,5
EXP 2: 22V - 10,7 lt/min	6660	6,90	22	10,7
EXP 3: 22V - 4 lt/min	6290	0,96	22	4
EXP 4: 30V - 4 lt/min	5770	-7,38	30	4

Fuente: Autores

Fig. 58. % variación de conductividad eléctrica de todas las pruebas



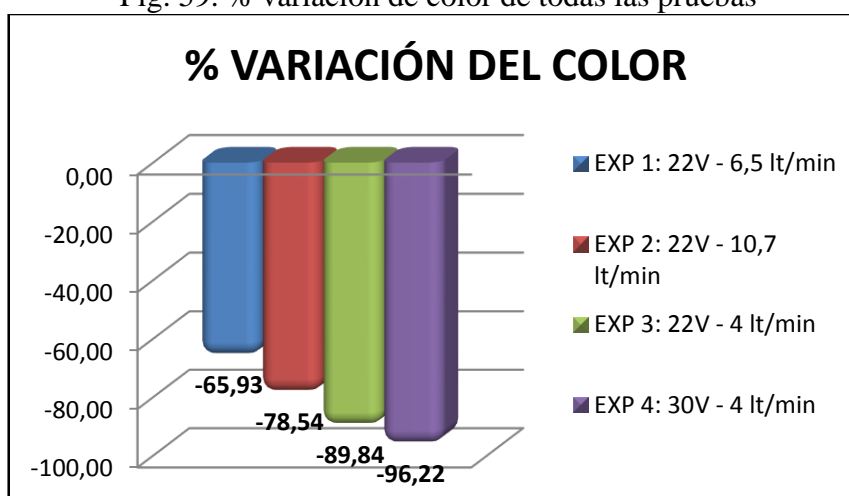
Fuente: Autores

Tabla 57. Resultados de color en todas las pruebas

Experimento	Color(Pt/Co)	% variación	Vcc	Caudal (lt/min)
MC	974,1	0	0	0
EXP 1: 22V - 6,5 lt/min	331,86	-65,93	22	6,5
EXP 2: 22V - 10,7 lt/min	209,04	-78,54	22	10,7
EXP 3: 22V - 4 lt/min	99,01	-89,84	22	4
EXP 4: 30V - 4 lt/min	36,85	-96,22	30	4

Fuente: Autores

Fig. 59. % variación de color de todas las pruebas



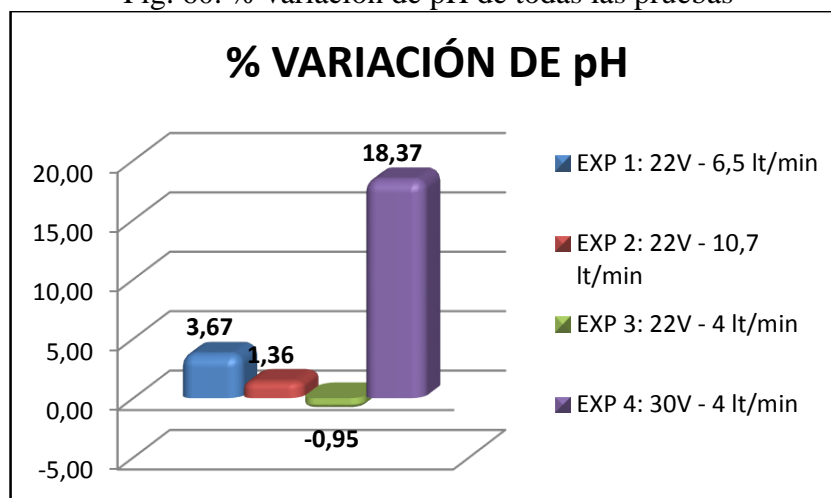
Fuente: Autores

Tabla 58. Resultado del pH en todas las pruebas

Experimento	Potencial de hidrógeno pH	% variación	Vcc	Caudal (lt/min)	V.L.P Min	V.L.P Max
MC	7,35	0	0	0	5	9
EXP 1: 22V - 6,5 lt/min	7,62	3,67	22	6,5		
EXP 2: 22V - 10,7 lt/min	7,45	1,36	22	10,7		
EXP 3: 22V - 4 lt/min	7,28	-0,95	22	4		
EXP 4: 30V - 4 lt/min	8,70	18,37	30	4		

Fuente: Autor

Fig. 60. % variación de pH de todas las pruebas



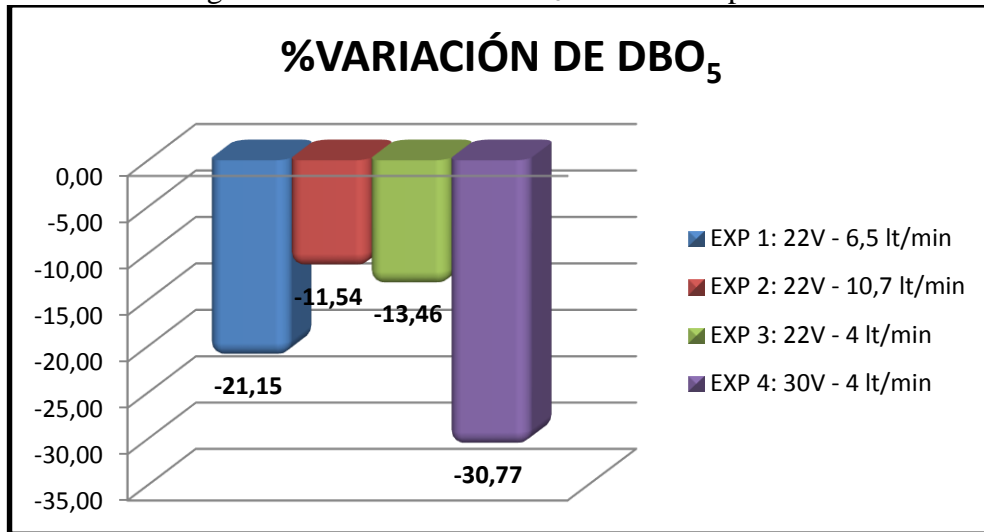
Fuente: Autores

Tabla 59. Resultado de DBO₅ en todas las pruebas

Experimento	DBO ₅ (mg/L)	% variación	Vcc	Caudal (lt/min)	VLP
MC	208	0	0	0	250
EXP 1: 22V - 6,5 lt/min	164	-21,15	22	6,5	250
EXP 2: 22V - 10,7 lt/min	184	-11,54	22	10,7	250
EXP 3: 22V - 4 lt/min	180	-13,46	22	4	250
EXP 4: 30V - 4 lt/min	144	-30,77	30	4	250

Fuente: Autores

Fig. 61. % variación de DBO₅ de todas las pruebas



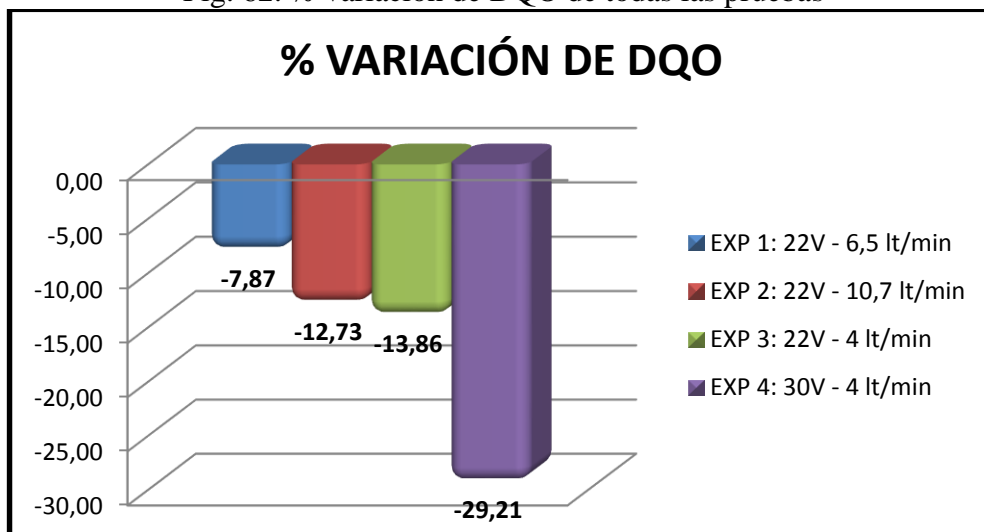
Fuente: Autores

Tabla 60. Resultado de DQO, en todas las pruebas

Experimento	DQO(mg/L)	% variación	Vcc	Caudal (lt/min)	VLP
MC	534	0	0	0	500
EXP 1: 22V - 6,5 lt/min	492	-7,87	22	6,5	500
EXP 2: 22V - 10,7 lt/min	466	-12,73	22	10,7	500
EXP 3: 22V - 4 lt/min	460	-13,86	22	4	500
EXP 4: 30V - 4 lt/min	378	-29,21	30	4	500

Fuente: Autores

Fig. 62. % variación de DQO de todas las pruebas



Fuente: Autores

Conclusiones finales de las pruebas con el prototipo

- En esta gráfica del comportamiento de la potencia podemos apreciar que el consumo de corriente aumenta mientras el voltaje de entrada es mayor, además cabe recalcar que el comportamiento tiene un pico al principio de la mayoría de tratamientos, pero hay una excepción, la cual ocurre al quedar residuos de partículas de experimentos anteriores en la celda.
- Utilizamos un caudal de 4,1 lt/min y un voltaje de 30V, se tiene un mayor consumo de corriente, obtenido un valor pico de 412,65 W y un mínimo de 244,92 W, que aparentemente en la gráfica tiene una tendencia a decaer según se va clarificando el agua y se va aumentando el número de placas.
- En la relación con la conductividad eléctrica podemos observar que el consumo de corriente disminuye este parámetro, pero en el experimento que tuvo un mayor incremento fue cuando utilizamos un caudal mayor de 10,7 lt/min y 22V.
- En la prueba que mayor éxito se tuvo fue en el último experimento en el cual utilizamos un caudal de 4lt/min y un voltaje de 30V teniendo una remoción del color de un 96,22%.
- Con el DBO₅ no se tuvo mayor dificultad en bajar los parámetros a los valores límites permisibles pero en el ensayo que se obtuvo una mayor reducción fue en la última en la cual utilizamos un voltaje de 30V y un caudal de 4 lt/min.
- El DQO también tuvo una remoción de hasta el 29,21%.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Como resultado de este trabajo se obtuvieron las siguientes conclusiones:

A través de la investigación que se realizó para el desarrollo del presente proyecto, se pudo adquirir un mayor conocimiento en los temas relacionados con la aplicación directa de la electrocoagulación y la aplicación específica que esta tiene en la industria.

La exposición de los electrodos al agua de procesos provoca un desgaste volumétrico, terminando como un acabado parecido a la corrosión por picadura.

Una alta conductividad eléctrica presente en el agua de proceso, ayuda a que el tratamiento se lleve a cabo en un tiempo más corto.

Se evidenció que el tiempo de permanencia del agua de procesos durante el tratamiento es de gran importancia, ya que si es muy corta la exposición no se logrará formar flóculos y si es muy larga hay una seria afectación del consumo eléctrico y un incremento del pH.

Los electrodos más recomendados para la remoción de color en el proceso de lavado y tinturado de jeans son de Aluminio y Acero A36.

Se evidenció que alrededor de los electrodos se forma una capa de impurezas debido al intercambio iónico, esto hace que se reduzca la superficie de contacto entre los electrodos haciendo que se pierda la eficiencia en el tratamiento.

La prueba más eficiente fue cuando utilizamos un caudal de 4,1 lt/min y un voltaje de 30V.

Es obligatorio utilizar un producto coagulante antes de que el agua residual entre a la tina de electrocoagulación, ya que esta agua tiene una gran cantidad de sólidos suspendidos que no dejarían que el proceso de electrocoagulación se realice adecuadamente.

7.2 Recomendaciones

Tener cuidado con el uso del equipo de electrocoagulación, debido a que se trabaja con una fuente de poder que supera los 50 A de corriente continua, un mal uso o un incorrecto aislamiento pueden causar quemaduras y daños en la piel, así como la inoperatividad total.

Verificar que los implementos, instrumentos de medida, conexiones eléctricas y demás se encuentren en buenas condiciones para evitar problemas.

Procurar que el agua a ser tratada esté libre de fibras, piedras e impurezas, ya que estas pueden interrumpir la normal circulación a través de las tuberías.

Limpiar la acumulación de restos que se forman en los electrodos con el fin de garantizar el correcto paso de energía.

Tener un especial cuidado con el rectificador, debido a que en el interior contiene elementos muy sensibles, como el generador de pulsos o el amperímetro mismos que podrían dañarse.

Evitar cortocircuitos, ya que estos podrían ocasionar un excesivo aumento de la temperatura en el transformador, los diodos y hacer que el equipo quede inservible.

Asegurar la correcta disipación de calor generada en la fuente de poder, es necesario utilizar ventilación forzada.

BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA, Valencia. 1992. *Teoría y práctica de la purificación del agua.* Santafé : Bogotá, 1992.

Asamblea Nacional Constituyente. 2008. *Constitución Política.* Montecristi : s.n., 2008.

DAROS, Giuseppina. 2005. *La contaminación de aguas en Ecuador: una aproximación económica.* Quito : Ecuador, 2005.

FERNANDÉZ, Alba. 2006. *Tratamiento avanzado de aguas residuales.* Madrid : s.n., 2006.

Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pelileo. 2009. *Ordenanzas municipales.* Pelileo : s.n., 2009.

GUAMÁN, Ángel. 2012. *Gestión Ambiental en la Empresa, Lavandería y Tintorería de Jeans Mundo Color y su incidencia en el recurso agua.* Riobamba : s.n., 2012.

HERNÁNDEZ, Pablo. 2003. *Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento y depuración de aguas mediante electrocoagulación.* Madrid : s.n., 2003.

LÓPEZ, Raúl. 2007. *Tratamiento de aguas residuales en lavanderías textiles.* Riobamba : Ecuador, 2007.

Ministerio del Ambiente. 2003. *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario.* Ecuador : s.n., 2003.

PARDO, Libia. 2009. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.* Santafé : Mc Graw Hill, 2009.

PEÑA, Rígola. 1990. *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales.* Barcelona : España, 1990.

RAMALHO. 2003. *Tratamiento de aguas residuales.* Barcelona : España, 2003.

RASHID, Muhammad. 1995. *Electrónica de potencia, circuitos, dispositivos y aplicaciones.* México : Juárez, 1995.

RESTREPO, Ana. 2008. *La electrocoagulación: retos y oportunidades.* Medellín : s.n., 2008.

TORRES, Motta. 1997. *Técnicas Industriales de Producción.* Cevallos : San Marcos, 1997.

Vicunha Textil. 2009. *Diagnostico de lavanderías textiles en Pelileo.* Pelileo : s.n., 2009.