

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO  
DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA HILANDERÍA  
LA INMACULADA S.A.C. PARA SU REUTILIZACIÓN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**PERCY DANIEL MEDINA RIVERA**

**Chiclayo 02 de Noviembre del 2015**

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO  
DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA HILANDERÍA  
LA INMACULADA S.A.C. PARA SU REUTILIZACIÓN”**

**POR:**

**PERCY DANIEL MEDINA RIVERA**

**Presentada a la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR**

---

**Dra. Zaida Brenilda Chávez Romero  
PRESIDENTE**

---

**MSc. Anabelle Zegarra Gonzalez  
García Urrutia  
SECRETARIO**

---

**Ing. María Luisa Espinoza  
ASESOR**

## **DEDICATORIA**

A mi madre por su amor incondicional desde el inicio, y a mi padre por su sacrificio, sin los cuales no estaría en este lugar.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, y a cada uno de los docentes que me brindaron sus enseñanzas, en especial a mi asesora la ingeniera María Luisa Espinoza, por su gran apoyo en la elaboración de esta tesis.

## **RESUMEN**

La industria Textil genera gran cantidad de aguas residuales, estos efluentes poseen elevadas concentraciones de colorantes y otros compuestos tóxicos. La Hilandería La Inmaculada S.A.C. es una empresa de la región de Lambayeque que no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, y sus efluentes son vertidos directamente a la red de alcantarillado. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales en la Hilandería La Inmaculada S.A.C., para su reutilización en el proceso productivo. Para ello se determinó la cantidad de efluente de manera experimental, midiendo los volúmenes utilizados en el proceso productivo; también se determinaron las características fisicoquímicas de las aguas residuales, por medio de análisis de pH, Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales en Suspensión, temperatura y conductividad. Luego, se identificó que el tratamiento más adecuado para las aguas residuales, tomando como criterio de evaluación y selección las características obtenidas en los análisis físico-químicos, la viabilidad desde el punto de vista económico y técnico, y la posibilidad de reutilización del agua tratada, es el proceso de Ozonización. Con el tratamiento del efluente mediante ozonización, se alcanza una reducción del consumo de agua, superior al 80%, pues dichas aguas se pueden reutilizar hasta en 06 ocasiones, en el mismo proceso de teñido. Finalmente en el estudio económico-financiero, se determinó la viabilidad económica del proyecto, y se obtuvieron valores de la Tasa Interna de Retorno de 15% y Valor Actual Neto \$ 18 740,23.

Palabras Clave: Tratamiento de aguas residuales, colorantes textiles, reutilización de aguas, ozonización.

## **ABSTRACT**

Textile industry generates large quantities of wastewater, these effluents have high concentrations of dyes and other toxic compounds. The Inmaculada Spinning mill S.A.C. is a company in the Lambayeque region and does not have a system of wastewater treatment and effluent are discharged directly to the sewer. This research aimed to propose a system of wastewater treatment in the Spinning mill for reuse in the production process. Considering this, the amount of effluent was determined experimentally by measuring the volumes used in the production process. Also, the physicochemical characteristics of the wastewater were determined by analysis of pH, Biological Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, Total Solid in Suspension, temperature and conductivity. Then, it was identified that the most appropriate treatment for wastewater, taking as assessment and selection criteria the physicochemical characteristics obtained in the analysis, the viability from an economic and technical perspective, and the possibility of reuse of treated water, is the process of ozonation. With the effluent treatment by ozonation, the reducing water consumption reaches 80% because these waters can be reused up to 06 times in the same dyeing process. Finally in the financial economic study, the economic viability of the project was determined, being the value of internal rate of return 15% and the Net Present Value \$18740.23.

Key Words: Wastewater treatment, textile dyes, water reuse, ozonation.

## ÍNDICE

CARÁTULA	i
CARÁTULA CON JURADO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE	vii

<b>I</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	13
<b>II</b>	<b>MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA</b>	15
2,1	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	15
2,2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	17
2,2,1	FIBRA ACRILICA	17
2,2,2	COLORANTES	18
2,2,3	EFLUENTES DE TEÑIDO	20
2,2,4	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	20
2,2,5	MARCO LEGAL	30
<b>III</b>	<b>RESULTADOS</b>	34
3,1	DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA HILANDERÍA LA INMACULADA S.A.C.	34
3,1,1	LA EMPRESA	34
3,1,2	CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL VERTIDA	39
3,1,3	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	42
3,2	IDENTIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO MÁS ADECUADO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA HILANDERÍA LA INMACULADA S.A.C. PARA SU REUTILIZACIÓN	46
3,3	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA HILANDERÍA LA INMACULADA S.A.C.	54
3,3,1	PRONÓSTICO DEL EFLUENTE	54
3,3,2	CÁLCULO DEL ÁREA DISPONIBLE PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.	56
3,3,3	CÁLCULO DEL CAUDAL DEL EFLUENTE	56
3,3,4	DETERMINACIÓN DE LOS PROCESOS DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA HILANDERÍA LA INMACULADA S.A.C.	58

3.3.5	BALANCE DE MASA DE LOS PROCESOS.	62
3.3.6	RESULTADO DEL BALANCE DE MASA	72
3.3.7	PROPUESTA DE LOS EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	73
3,4	ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA HILANDERÍA LA INMACULADA S.A.C. PARA SU REUTILIZACIÓN.	82
3.4.1	COSTOS DEL AGUA PARA EL PROCESO DE TEÑIDO SIN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PTAR	82
3.4.2	COSTOS DEL AGUA PARA EL PROCESO DE TEÑIDO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TAR.	85
3.4.3	FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO	96
<b>IV</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	98
<b>V</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	100
<b>VI</b>	<b>ANEXOS</b>	103
	Anexo 01. Hoja técnica del tinte amarillo oro básico gl	103
	Anexo 02. Hoja técnica del tinte violeta básico	103
	Anexo 03. Hoja técnica del tinte amarillo brillante básico	104
	Anexo 04. Hoja técnica del tinte amarillo brillante básico	104
	Anexo 05. Hoja técnica del tinte azul básico	105
	Anexo 06. Hoja técnica del tinte azul turquesa básico	105
	Anexo 07. Hoja técnica del tinte rojo básico	106
	Anexo 08. Hoja técnica del tinte negro básico	106
	Anexo 09. Hoja técnica del tinte flavina básico	107
	Anexo 10. Ficha técnica del ácido fórmico	108
	Anexo 11. Ficha técnica de la sal textil	109
	Anexo 12. Ficha técnica de la soda caustica 98%	110
	Anexo 13. Ficha técnica del peróxido de hidrógeno	111
	Anexo 14. Ficha de seguridad del peróxido de hidrogeno.	112
	Anexo 15. Resultados de ensayos fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de aguas residuales de la hilandería La Inmaculada S.A.C.	113
	Anexo 16. Carta de la hilandería la inmaculada para aprobación de investigación.	114
	Anexo 17. Carta de la hilandería la inmaculada para aprobación de investigación.	115
	Anexo 18 Plano de la empresa que muestra el área disponible para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales.	116
	Anexo 19. Plano de Tanque Homogeneizador	117
	Anexo 20. Ficha técnica de sistema DAF (hoja 01)	118

Anexo 21. Ficha técnica del sistema DAF (hoja 02)	119
Anexo 22. Plano del tanque de almacenamiento de lodos.	120
Anexo 23. Ficha técnica del filtro.	121
Anexo 24. Ficha técnica del generador de ozono.	122
Anexo 25. Ficha técnica tanque de contacto de ozono/agua (hoja 1)	123
Anexo 26. Ficha técnica del tanque de contacto de ozono/agua (hoja 2)	124
Anexo 27. Ficha técnica del inyector ozono	125
Anexo 28. Ficha técnica del sistema de eliminación de ozono residual cillit ck-2 (hoja 1)	126
Anexo 29. Ficha técnica del sistema de eliminación de ozono residual cillit ck-2 (hoja 2)	127
Anexo 30. Ficha técnica de las bombas centrífugas que se usaran en el sistema de tratamiento de aguas residuales.	128
Anexo 31. Ficha técnica de las bombas centrífugas que se usaran en el sistema de tratamiento de aguas residuales.	129
Anexo 32. Plano de ubicación de la PTAR	130
Anexo 33. Plano de distribución de equipos para la PTAR	131
Anexo 34. Vista 3D del sistema de tratamiento de aguas residuales Imagen 01.	132
Anexo 35. Vista 3D del sistema de tratamiento de aguas residuales Imagen 02.	132
Anexo 36. Vista 3D del sistema de tratamiento de aguas residuales Imagen 03.	133
Anexo 37. Proyección de ingresos por ventas en la hilandería La Inmaculada S.A.C.	134
Anexo 38. Cronograma de pagos para el crédito que se obtendrá para la implementación del PTAR.	135

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Características de los efluentes de teñido de diferentes tipos de fibras	20
Tabla 02. Métodos de eliminación de compuestos orgánicos en aguas residuales	21
Tabla 03. Parámetros de Selección en Efluentes Líquidos para la actividad de Textiles.	32
Tabla 04. Límites Máximos Permisible de descarga al sistema de alcantarillado público	33
Tabla 05. Generación de Agua Residual en el proceso de Teñido de la Hilandería La Inmaculada S.A.C	42
Tabla 06. Comparación de los resultados de los análisis y los LMP de descarga al sistema de alcantarillado público	44
Tabla 07. Concentración de tinte en las aguas residuales	45
Tabla N° 08. Resultados de las concentraciones de tinte, presente en efluentes estudiados en otras investigaciones.	45
Tabla 09. Porcentajes de decoloración de cada uno de los tratamientos que se evaluaron	47
Tabla10. Inversiones y capacidades de tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales	48
Tabla 11. Costos de inversión de las tecnologías de Ozonización y Fotocatálisis para el tratamiento de las aguas residuales	49
Tabla 12. Costos de inversión de las tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales	49
Tabla 13. Confrontación de factores para su ponderación	52
Tabla 14. Escala de Calificación	52
Tabla 15. Calificación de los factores Predominantes para cada uno de los procesos analizados en la investigación	53
Tabla 16. Pronóstico de las cantidades de efluente que generará la Hilandería La Inmaculada S.A.C	55
Tabla N° 17. Valores de los parámetros del efluente antes y después del tratamiento en la PTAR propuesta, LMP para reutilización y porcentajes de remoción.	72
Tabla 18. Costos del consumo de agua para la hilandería La Inmaculada S.A.C. sin la implementación de la PTAR	84
Tabla 19. Costos de construcción de Tanque Homogeneizador	85
Tabla 20. Costos de construcción de Tanque de Lodos	85
Tabla 21. Costos de Equipos e Instalación	87

Tabla 22. Costo de tratamiento de 1 m <sup>3</sup> de efluente para el proceso de Homogeneización	87
Tabla 23. Costo de tratamiento de 1 m <sup>3</sup> de efluente para el proceso de Coagulación-Floculación	88
Tabla 24. Costo de tratamiento de 1 m <sup>3</sup> de efluente para el proceso de Filtración	88
Tabla 25. Consumo de energía por día del sistema de tratamiento de aguas residuales	89
Tabla 26. Costo de consumo de energía de cada equipo para 1 m <sup>3</sup> de efluente tratado en la PTAR	90
Tabla 27. Costo de la mano de obra requerida para la PTAR	90
Tabla N° 28. Equipos de medición para el control de los parámetros del efluente que se tratará en la PTAR	91
Tabla 29. Costo de tratamiento de un m <sup>3</sup> de efluente en el PTAR propuesto	91
Tabla 30. Costos de depreciación de los equipos de la PTAR	92
Tabla 31. Consumo de agua para los años del 2015 al 2018, para el proceso de teñido de la hilandería La Inmaculada S.A.C.	94
Tabla 32. Costos del consumo de agua para la hilandería La Inmaculada S.A.C. con la implementación del STAR	95
Tabla 33. Flujo de caja del proyecto	96
Tabla 34. Resumen del Flujo del proyecto	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Madejas de Hilo de la empresa La Inmaculada S.A.C	36
Figura 02: Diagrama de Flujo del Proceso de Teñido de Madejas de Fibra Acrílica	38
Figura 03. Proceso de Teñido de fibras textiles en la Hilandería La Inmaculada S.A.C	39
Figura 04. Comportamiento del Efluente del proceso de teñido de las fibras textiles	54
Figura 05. Cálculo del caudal de salida de las Autoclaves en Hcanales	57
Figura 06. Etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales por flotación con aire disuelto	59
Figura 07. Diagrama del proceso de Ozonización	61

Figura 08. Diagrama de proceso del tratamiento de aguas residuales de la Hilandería La Inmaculada S.A.C	62
Figura N° 09. Balance de masa del proceso de homogeneización, en la PTAR de la hilandería La Inmaculada S.A.C.	65
Figura N° 10. Balance de masa del proceso de coagulación-floculación, en la PTAR de la hilandería La Inmaculada S.A.C.	66
Figura N° 11. Balance de masa del proceso de Flotación por aire disuelto, en la PTAR de la hilandería La Inmaculada S.A.C.	68
Figura N° 12. Balance de masa del proceso de Filtración, en la PTAR de la hilandería La Inmaculada S.A.C.	70
Figura N° 13. Balance de masa del proceso de ozonización, en la PTAR de la hilandería La Inmaculada S.A.C.	71
Figura N° 14. Sistema de flotación de aire disuelto	75
Figura N° 15. Diseño del recipiente de almacenamiento de lodos.	77
Figura N° 16. Esquema de instalación del filtro.	78
Figura N° 17. Dimensiones de los tanques Rotoplas.	79
Figura N° 18. Bomba centrífuga de ¾ HP.	81

## I. INTRODUCCIÓN

El agua como recurso natural es el más importante en nuestro planeta, ya que ella constituye el motor del desarrollo humano e industrial, el agua no puede sustituirse por otro fluido en muchos usos, además que es proveedora de la vida misma. En los países desarrollados el 59% del consumo total de agua se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, Agua para todos, agua para la vida (Del Rio, 2011) . El sector productor no sólo es el que más gasta, también es el que más contamina. La descarga de aguas residuales generadas en los procesos industriales contienen compuestos químicos: ácidos, bases, iones metálicos, entre otros, materia orgánica (en suspensión, dilución, etc.) que consumen el contenido de oxígeno del cuerpo receptor, imposibilitando de acuerdo a su concentración, la auto purificación de las aguas de dicho cuerpo a tal grado que puede interferir en su uso futuro.

La industria textil es una industria que consume grandes cantidades de agua, energía y productos químicos auxiliares, además genera una gran cantidad de agua residual; estos efluentes poseen elevadas concentraciones de colorantes, contaminantes orgánicos refractarios, compuestos tóxicos, componentes inhibidores, tensioactivos, componentes clorados (Salazar et al, 2009). Estos efluentes presentan un efecto carcinogénico, mutagénico y el deterioro al medio ambiente que generan los colorantes al ser dispuestos en fuentes superficiales.

Los requerimientos normativos sobre el uso del recurso hídrico, así como la necesidad de ahorrar y reutilizar el agua en la industria, hacen necesario que se investiguen nuevos procesos que permitan mejorar la remoción de componentes difícilmente biodegradables, partículas coloidales, virus, bacterias; y permitan la posibilidad de la incorporación del efluente en el proceso productivo.

LA INMACULADA S.A.C. es una empresa de la región dedicada a la fabricación de hilados, utiliza como materia prima fibra acrílica, y el producto final es obtenido en madejas de distintos colores, según el requerimiento de los clientes. Uno de los problemas más resaltantes en el proceso productivo es el alto consumo de agua durante el teñido de las madejas, debido a esto, grandes cantidades de agua son desechadas diariamente, sin ningún tratamiento previo.

Estas aguas residuales contienen colorantes, una elevada toxicidad, entre otros componentes y su vertido no solo impacta de manera negativa al medio ambiente, sino

que también tiene un costo económico elevado, además se desaprovecha una posible reutilización de estas aguas en el proceso productivo.

El objetivo principal de esta investigación fue proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales en la Hilandería La Inmaculada S.A.C. para su reutilización, y para ello se formularon como objetivos específicos: determinar la cantidad y características fisicoquímicas de las aguas residuales, luego, identificar cuál es el tratamiento para su reutilización, a continuación se realizó la propuesta del sistema de tratamiento de aguas residuales, y finalmente, se evaluó la viabilidad económica para la implementación del sistema en la empresa.

Uno de los retos más importantes que actualmente tiene la industria moderna es el de hacer compatible la producción con la depuración de los residuos, emisiones y vertidos que esta genera. La normatividad hoy en día exige a las industrias utilizar mecanismos que prevengan y disminuyan la contaminación, y además contribuyan a un crecimiento económico, sano y a un desarrollo sustentable.

La descarga de aguas residuales sin tratamiento ocasiona grados variables de contaminación en los ecosistemas. Estos vertidos deben ser manejados adecuadamente, con tecnologías limpias. Por ello es necesario el realizar investigaciones que ayuden a minimizar los impactos ambientales, con el tratamiento de las aguas residuales y su posible reutilización en el proceso.

El estudio del problema planteado es de suma importancia para la empresa, pues actualmente incurre en costos muy elevados por el excesivo consumo de agua (9500 m<sup>3</sup>/año aprox.), el desperdicio de esta al no ser tratada y reutilizada, además del impacto ambiental que genera al no cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para su descarga, que exigen que el efluente tenga una Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) menor o igual a 100 mg/l, Demanda Química de Oxígeno (DQO) menor o igual a 200 mg/l, Sólidos Suspendidos Totales (SST) menor igual a 150 mg/l, y pH entre 6,5 y 8,5.

## II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

### 2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Ovejero et al (2011) en su investigación: *“Wet air oxidation and catalytic wet air oxidation for dyes degradation”* (Oxidación con aire húmedo y oxidación catalítica con aire húmedo para la degradación de colorantes). Determinaron la eficiencia del tratamiento de los catalizadores de níquel soportados sobre hidrotalcitas en compuestos modelo de tres tintes, Amarillo Básico 11 (Basic Yellow 11), Violeta Cristal (Crystal Violet) y Naphtol Azul Negro (Naphtol Blue Black) y dos tipos de aguas residuales textiles. Se logró un alto grado de remoción del tinte, superior al 95%. Concluyeron que los procesos de Oxidación con aire húmedo y Oxidación Catalítica con aire húmedo demostraron ser muy eficaces en la eliminación de los colorantes presentes en las aguas residuales.

Álvarez et al (2011) en su investigación: *“Remoción de rojo básico de un efluente textil simulado: un caso de aplicación de la cascarilla de arroz”* evaluaron la capacidad adsorbente de la cascarilla de arroz en la remoción del colorante Rojo Básico 46 (Basic Red 46). La determinación del contenido de tinte se realizó mediante Espectrofotometría Ultravioleta-Visible. Como resultados se alcanzaron remociones del colorante del 91%, a pH=8, con tamaño de partícula entre 0,5 - 0,75 mm, una dosificación de 3,0 mg/l, concentración de colorante de 20 mg/L y tiempo de agitación de 90 min. Se concluyó que la cascarilla de arroz presenta una alta capacidad de remoción del colorante industrial Rojo Básico 46 que lo perfila como un material promisorio para el escalado de esta estrategia de tratamiento de efluentes industriales.

Poznyak et al (2007) en su investigación: *“Treatment of Textile Industrial Dyes by Simple Ozonation with Water Recirculation”* (Tratamiento de tintes industriales textiles por ozonización simple con recirculación de agua). Trataron con ozono tres soluciones acuosas diferentes de colorantes textiles. La descomposición de los colorantes por ozonación simple fue observada en las soluciones en agua correspondientes. El análisis Ultravioleta-Visible fue el método preliminar para controlar el grado de descomposición del colorante. La eliminación de los colorantes se dio después de 2 minutos. El agua ozonizada fue utilizada para la preparación de colorantes hasta en 8 ocasiones. Se observó la presencia de algunos subproductos de rápida formación en las muestras, sin embargo, esta no afectó la calidad final del agua. Como resultados finales quedó demostrada que la decoloración de los tintes con ozono es rápida y sencilla, la descomposición completa de los tintes (98% de eficiencia) se produce después de 25 minutos de ozonización y no generaron productos tóxicos para los microorganismos.

Laasri et al (2007) en su investigación: “*Removal of Two Cationic Dyes from a Textile Effluent by Filtration-Adsorption on Wood Sawdust*” (Eliminación de dos tintes catiónicos de un efluente textil por Filtración-Adsorción en aserrín de madera). Afirmaron que los tintes para textiles tienen origen sintético y estructuras moleculares complejas aromáticas que hacen que sean difíciles de biodegradar cuando se libera al ecosistema. El objetivo de este estudio fue examinar la decoloración de efluentes textiles que contienen colorantes catiónicos por Filtración-Adsorción en aserrín de madera, de dos orígenes diferentes: el abeto como ejemplo de un árbol de coníferas y el haya como un caducifolio. Los experimentos de adsorción se realizaron mediante la suspensión de aserrín en el efluente y el análisis de sobrenadante por espectrofotometría. La eficacia del proceso de tratamiento se evaluó mediante la medición de la coloración. Los resultados experimentales mostraron un potencial significativo para el aserrín de madera, especialmente el de coníferas, para eliminar colorantes catiónicos de los efluentes textiles. La Filtración-Adsorción utilizando un biosorbente barato y fácilmente disponible proporciona un tratamiento alternativo y atractivo para la eliminación de tinte, y que no genera ningún tipo de contaminación secundaria.

Garcés et al (2005) en su investigación: “*Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocátalisis*”. Evaluaron la fotodegradación sensibilizada con dióxido de titanio para un colorante utilizado en la industria textil. Se realizaron los ensayos en un colector solar cilíndrico parabólico compuesto, que consiste en un módulo con ocho tubos de vidrio y lámina de aluminio, ya que permite la reflectancia de la radiación ultravioleta de la luz solar, todo el conjunto tenía una bomba de recirculación y un tanque. Los tubos de vidrio estaban unidos con conexiones de PVC. Se realizaron los montajes durante ocho horas de radiación, a cada hora se realizaron los análisis de color y de carbono orgánico total (COT). Como resultado se obtuvo un porcentaje de eficiencia de remoción del tinte de entre 90 y 98%.

## **2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.2.1 Fibra Acrílica**

De acuerdo a Cegarra (2008), la definición, composición y estructura fisicoquímica de las fibras acrílicas es la siguiente:

#### **2.2.1.1 Definición**

Es una fibra sintética elaborada a partir de acrilonitrilo (cianuro de vinilo), del que deriva su nombre genérico; se asemeja mucho a la lana. Se obtuvo por primera vez en Alemania en 1893. Existen una gran variedad de fibras acrílicas, que si bien poseen características físicas y químicas muy similares, presentan un comportamiento tintóreo diferente.

Para ser llamadas “fibras acrílicas” las fibras deben contener un mínimo de 85% de acrilonitrilo en su estructura química, de acuerdo con la definición de la ISO (International Standards Organization) y BISFA (Oficina Internacional de Normalización de Fibra Sintética).

#### **2.2.1.2 Composición y Estructura Fisicoquímica de las Fibras Acrílicas**

Las fibras acrílicas se obtienen mediante un proceso de polimerización y su componente principal es el acrilonitrilo  $\text{CH}_2=\text{CHNC}$ .

Las fibras acrílicas se producen con un contenido de acrilonitrilo entre un 85-90% y el restante 10-15% está formado por uno, o más frecuentemente dos, cronómeros; los cuales hacen que las propiedades termoplásticas de las fibras sean mejores para la industria. (Cegarra, 2008)

#### **2.2.1.3 Tintura de las Fibras Acrílicas**

Se desarrolla en tres etapas fundamentales: absorción por la superficie de la fibra del colorante disuelto en el baño; difusión del colorante desde la superficie de la fibra hacia su interior; y la unión del colorante con la fibra.

En la absorción, la presencia simultánea en el medio acuoso de la fibra con carga negativa y el colorante básico ionizado, origina la atracción de éste que es absorbido en la superficie de la fibra. La difusión, se produce por el traslado de la molécula de colorante de un sitio en la zona externa de la fibra, a otro situado más internamente, o sea una transferencia. (Cegarra, 2008)

### **2.2.2 Colorantes**

De acuerdo al portal web Red Textil Argentina (2012), los colorantes se definen y clasifican así:

### **2.2.2.1 Definición**

Son sustancias químicas que tienen la propiedad de transferir color a las fibras, las cuales son capaces de teñir las diferentes fibras naturales o sintéticas, que absorben selectivamente parte a la totalidad de las radiaciones luminosas de la zona visible del espectro (400 a 700 nm). Para que un colorante sea útil, debe ser capaz de unirse fuertemente a la fibra, y esta al ser lavada, no debe perder su color. Debe ser estable químicamente y soportar bien la acción de la luz.

### **2.2.2.2 Clasificación según las propiedades y modo de aplicación**

Según sus propiedades y los modos de aplicación en el teñido de fibras, los colorantes se subdividen en colorantes directos, colorantes a la tina, colorantes al mordiente, colorantes ácidos y básicos, y colorantes reactivos, entre otros tipos.

#### **a) Colorantes Directos**

Son colorantes que tiñen celulosa sin necesidad de mordiente, normalmente aplicados en un baño acuoso con su electrolito añadido. También se les llama colorantes sustantivos porque poseen la propiedad de teñir fibra (celulosa) y no ser eliminados en un lavado posterior.

Se utilizan fundamentalmente para teñir fibras celulósicas, naturales o sintéticas (algodón, lino o rayón). El colorante se fija a la fibra a través de enlaces por puente de hidrógeno, por lo que tiene que ser una molécula lineal o plana, relativamente larga, y con capacidad para formar puentes de hidrógeno con los grupos hidroxilo de la celulosa.

#### **b) Colorantes dispersos**

Son colorantes insolubles en agua que se aplican utilizando dispersiones coloidales del colorante en agua. Se usan para colorear fibras acrílicas, poliamidas, poliésteres y fibras de acetato de celulosa. Las partículas del colorante, precipitadas, se adhieren a la fibra mediante interacciones dipolares. Este tipo de coloración suele ser poco estable en el lavado, o incluso puede sublimar en el planchado; además es poco estable frente al ozono y el NO<sub>2</sub> (decoloración gaseosa). Los colorantes más usados por este procedimiento son colorantes de antraquinona con grupos amino e hidroxilo como auxocromos.

### **c) Colorantes a la tina**

Son sales insolubles en medio acuoso que por reducción se transformaran en sales solubles (tina), con la cual se impregna la fibra y que al exponerla al aire o a un agente oxidante se reoxida (sobre la fibra) y toma su forma inicial insoluble.

### **d) Colorantes ácidos o básicos**

Los colorantes ácidos (aniónicos) o básicos (catiónicos) se usan para teñir sustratos que tienen grupos ácidos con carga positiva o grupos básicos con carga negativa, respectivamente.

Es el caso, por ejemplo, de la lana o la seda que son proteínas que tienen grupos catiónicos amonio ( $-\text{NH}_3^+$ ) y grupos aniónicos carboxilato ( $-\text{COO}^-$ ). El colorante se une al tejido mediante fuerzas polares, formando sales.

Los colorantes ácidos suelen ser sales de sodio de grupos sulfónicos, presentes en colorantes de tipo azoico; los colorantes básicos son normalmente sales de amonio cuaternario.

### **e) Colorantes al mordiente**

El mordiente es un producto que se adiciona a la fibra y es absorbido por ella, pudiendo consecutivamente atraer el colorante. Este término se usa principalmente para los colorantes que se adicionan usando óxidos metálicos como mordiente.

### **f) Colorante Reactivo**

Son colorantes sintéticos solubles en agua que forman enlaces químicos con la celulosa y la lana reaccionando con la fibra por sustitución o adición nucleofílica.

## **2.2.3 Efluentes de teñido**

Las características de los efluentes del proceso de teñido se muestran en la Tabla N° 01, que presenta los valores de los parámetros de los efluentes, para los tipos

de fibra más utilizados. La hilandería La Inmaculada S.A.C. trabaja con fibras acrílicas.

**Tabla N° 01. Características de los efluentes de teñido de diferentes tipos de fibras.**

FIBRA	PARÁMETROS		
	DBO (mg/l)	Sólidos Totales (mg/l)	pH
Algodón	60 -10 000	10 - 800	1-12
Rayón	28 000	3 500	8-9
Acetato	2 000	2 000	9-10
Nailon	400	600	8-9
Acrílica	200 – 2 000	800 – 2 000	1-4
Poliéster	500 – 27 000	300 – 3 000	6-9

Fuente: Informe Técnico sobre la minimización de residuos textiles (2004).

#### **2.2.4 Tratamiento de Aguas Residuales**

De acuerdo a Fernández et al (2006), los tratamientos de aguas residuales, se clasifican de la siguiente manera:

Los tratamientos a los que se deben someter los efluentes tienen que garantizar la eliminación o recuperación del compuesto orgánico en el grado requerido por la legislación que regula el vertido del efluente o para garantizar las condiciones mínimas del proceso en el caso de reutilización o recirculación de la corriente para uso interno. El nivel máximo admisible de contaminante puede conseguirse mediante la utilización de diversas técnicas tanto destructivas como no destructivas. La Tabla N° 02 muestra los métodos de eliminación orgánicos en aguas residuales.

**Tabla N° 02. Métodos de eliminación de compuestos orgánicos en aguas residuales.**

Métodos no destructivos
Adsorción (carbón activo y otros adsorbentes) Desorción (Stripping)

Extracción en fase líquida con disolventes
Tecnología de membranas (Ultrafiltración, nanofiltración)
<b>Métodos destructivos</b>
Tratamiento biológico (aerobio y anaerobio) Oxidación química
Incineración
Oxidación húmeda catalítica y no catalítica
Oxidación húmeda supercrítica
Procesos avanzados de oxidación

Fuente: Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales (Fernández et al, 2006)

La aplicación de un método u otro depende fundamentalmente de la concentración del contaminante y del caudal de efluente. Determinadas técnicas, como la incineración y algunos tratamientos de oxidación, son utilizables sólo cuando la concentración de compuestos orgánicos es elevada, mientras que otras, como la adsorción y los procesos de oxidación avanzada, son útiles en efluentes con baja concentración de contaminante.

#### **2.2.4.1 Tecnologías Convencionales**

##### **a) Tratamientos para la eliminación de materia en suspensión en aguas residuales**

A continuación se describen las operaciones unitarias más habituales. La utilización de una u otra es en función de las características de las partículas (tamaño, densidad, forma, etc.) así como de la concentración de las mismas.

- **Desbaste:** Es una operación en la que se trata de eliminar sólidos de mayor tamaño que el que habitualmente tienen las partículas que arrastran las aguas. El objetivo es eliminarlos y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos. Suele ser un tratamiento previo a cualquier otro.
- **Sedimentación:** Operación física en la que se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su

velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le suele denominar también decantación.

- **Filtración:** La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable, dispuesta en distintas capas de distinto tamaño de partícula.
- **Flotación:** Operación física que consiste en generar pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, de donde son arrastradas y sacadas del sistema. Esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmiscible, como en el caso de aceites y grasas.

## **b) Tratamientos para la eliminación de materia disuelta en aguas residuales**

Al igual que en el caso de la materia en suspensión, la materia disuelta puede tener características y concentraciones muy diversas: desde grandes cantidades de sales inorgánicas disueltas (salmueras), orgánicas (materia orgánica biodegradable en industria de alimentación), hasta extremadamente pequeñas cantidades de inorgánicos (metales pesados) y orgánicos (pesticidas) pero necesaria su eliminación dado su carácter peligroso. (Fernández et al, 2006)

- **Precipitación:** Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos descritos en la eliminación de la materia en suspensión.
- **Procesos Electroquímicos:** Está basado en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) y provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo. Por tanto se utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación ambiental, siendo su coste uno de las principales desventajas de este proceso.

- **Intercambio Iónico:** Es una operación en la que se utiliza un material, habitualmente denominado resinas de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.
- **Adsorción:** El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental para este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo.

El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, aunque recientemente se están desarrollando diversos materiales sólidos que mejoran, en ciertas aplicaciones, las propiedades del carbón activo.

- **Desinfección:** La desinfección pretende la destrucción o inactivación de los microorganismos que puedan causar enfermedades, dado que el agua es uno de los principales medios por el que se transmiten. Los organismos causantes de enfermedades pueden ser bacterias, virus, protozoos y algunos otros. En el caso de aguas residuales industriales, el objetivo puede ser no solo desactivar patógenos, sino cualquier otro organismo vivo, si lo que se pretende es reutilizar el agua.
- **Tratamientos Biológicos:** Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, aprovechando la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes. La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P). Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales.
- **Sistemas aerobios:** La presencia de  $O_2$  hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen unos rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias.

- **Sistemas anaerobios:** En este caso el aceptor de electrones puede ser el  $\text{CO}_2$  o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono es su estado más reducido,  $\text{CH}_4$ .
- **Fangos Activados:** Consiste en poner en contacto en un medio aerobio, normalmente en una balsa aireada, el agua residual con flóculos biológicos previamente formados, en los que se adsorbe la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. Junto con el proceso de degradación, y para separar los flóculos del agua, se ha de llevar a cabo una sedimentación, donde se realiza un recirculación de parte de los fangos, para mantener una elevada concentración de microorganismos en el interior de reactor, además de una purga equivalente a la cantidad crecida de organismos.
- **Filtros Percoladores:** También denominados filtros biológicos o lechos bacterianos. Son los sistemas aerobios de biomasa inmovilizada más extendidos en la industria. Suelen ser lechos fijos de gran diámetro, rellenos con rocas o piezas de plástico o cerámica con formas especiales para desarrollar una gran superficie. Sobre la superficie crece una fina capa de biomasa, sobre la que se dispersa el agua residual a tratar, que moja en su descenso la superficie. Al mismo tiempo, ha de quedar espacio suficiente para que circule aire, que asciende de forma natural.
- **Contactores Biológicos Rotatorios (Biodiscos):** Consisten en una serie de placas o discos, soportados en un eje y parcialmente sumergidos (40%) en una balsa que contiene el agua residual. El eje junto con los discos, gira lentamente. Sobre la superficie de los disco crece la biopelícula, que sucesivamente, se “moja” y entra en contacto con el aire, produciéndose la degradación de la materia orgánica.
- **Hidrólisis:** Es la ruptura de moléculas grandes, solubles e insolubles, en moléculas de menor tamaño que pueden ser transportadas dentro de las células y metabolizadas. En este proceso no se produce metano, y en la mayor parte de los casos supone una etapa que se desarrolla lentamente.

#### 2.2.4.2 Tecnologías Emergentes

##### a) Oxidación Química

- **Incineración:** Consiste en la oxidación térmica completa del residuo en fase gas y a temperatura elevada. Es un método útil únicamente cuando se trata de pequeñas cantidades de aguas con una concentración elevada de contaminantes oxidables. En caso contrario, los costes de operación asociados a la necesidad de utilizar un combustible auxiliar, se vuelven excesivos.
- **Oxidación Húmeda no Catalítica:** La oxidación húmeda es un proceso en el cual la materia orgánica, soluble o en suspensión, se oxida con oxígeno disuelto procedente de aire o corrientes gaseosas enriquecidas en oxígeno.
- **Oxidación Húmeda Catalítica:** La oxidación húmeda catalítica (CWAO) es capaz de mineralizar totalmente los contaminantes orgánicos junto con compuestos inorgánicos tales como cianuros y amoníaco, y como la oxidación húmeda, puede utilizar aire u oxígeno como agente oxidante. El catalizador hace posible la operación en condiciones de temperatura y presión más moderadas que las de la oxidación húmeda no catalítica y, por tanto, mejorar el balance económico del proceso.

La eficacia del proceso en cuanto a la reducción de DQO puede oscilar entre el 75% y el 99%: el catalizador permite alcanzar grados de oxidación elevados o trabajar con menores tiempos. La oxidación húmeda catalítica está particularmente indicada en el caso de efluentes concentrados (demandas químicas de oxígeno mayores que 10000 mg/L, para las cuales el proceso no requiere aporte externo de energía) o que contengan compuestos no biodegradables o tóxicos para los sistemas biológicos de depuración. El proceso no es eficaz económicamente frente a los procesos avanzados de oxidación en el caso de efluentes con baja carga orgánica (demandas químicas de oxígeno menores que 5000 mg/L). (Fernández et al, 2006)

Este tipo de tratamiento tiene limitaciones, la DQO inicial del efluente debe ser menor a 10000 mg/L, el proceso es muy dependiente del tipo de catalizador, la estabilidad de algunos catalizadores no es satisfactoria y las temperaturas de trabajo oscilan entre 120° - 250°, 5-25 bar. Además, representa una tecnología que requiere altos costos frente a Procesos Avanzados de Oxidación. El agua tratada no será apta para la reutilización por la presencia de metales por el catalizador.

- **Rendimiento:**

Reduce la DQO en un rango 75 – 99%, y se alcanza una remoción del tinte 95%.

(Ovejero et al, 2011)

## **b) Procesos Avanzados de Oxidación**

Los procedimientos avanzados de oxidación (Advanced oxidation processes = AOP) se definen como “aquellos procesos de oxidación que implican la generación de radicales hidroxilo en cantidad suficiente para interactuar con los compuestos orgánicos del medio”. Se trata de una familia de métodos que utilizan la elevada capacidad oxidante de los radicales HO<sup>•</sup> y que se diferencian entre sí en la forma en la que los generan. (Fernández et al, 2006)

- **Ozonización en medio Alcalino:** El ozono es inestable en agua: tiende a descomponerse en una secuencia de reacciones que generan radicales entre los que se encuentra el radical hidroxilo. La principal desventaja del proceso, como de todos los que implican la utilización de ozono, es el coste de su generación mediante descarga eléctrica

La energía que se requiere para la síntesis de ozono a partir de aire oscila entre 22 y 33 kWh/kg O<sub>3</sub>, mientras que a partir de oxígeno se reduce a 12-18 kWh/kg O<sub>3</sub> al que hay que sumar el coste del oxígeno. Una desventaja inherente al medio es que los aniones carbonato y bicarbonato, abundantes en muchas aguas residuales y naturales, son agentes neutralizantes de radicales que reaccionan con los hidroxilos del medio para formar radicales carbonato o bicarbonato que no intervienen en reacciones de mineralización de materia orgánica. Una elevada alcalinidad del agua es un motivo para optar por técnicas menos sensibles a la neutralización de radicales.

- **Métodos Ozono-Ultravioleta:** La foto-oxidación directa con radiación UV da fundamento a una tecnología de degradación de contaminantes orgánicos siempre que éstos absorban dicha radiación y lo hagan con una especificidad razonable en comparación con otros compuestos presentes en el medio. Desafortunadamente, la absorbancia de la mayoría de los contaminantes orgánicos es baja y las reacciones fotoquímicas que se

originan tienden a generar mezclas complejas de productos intermedios en lugar de la mineralización del contaminante.

- **Peróxido de hidrógeno y catalizador:** Se trata de un sistema catalítico homogéneo en el cual una sal de hierro, habitualmente  $\text{FeSO}_4$ , genera radicales gracias a la interacción del peróxido de hidrógeno con la forma reducida,  $\text{Fe(II)}$ . La interacción con la forma reducida del hierro genera en última instancia, radicales hidroxilo, aunque éstos pueden intervenir también en la oxidación directa del hierro.
- **Foto-Fenton:** Se basa en la producción de radicales hidroxilo mediante el reactivo de Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$ ). La velocidad de degradación de contaminantes orgánicos con sistemas Fenton resulta notablemente acelerada por la irradiación con luz Ultravioleta-Visible (longitudes de onda mayores de 300 nm).
- **Ozonización Catalítica:** La catálisis heterogénea como método de oxidación avanzada ofrece con respecto a los sistemas catalíticos homogéneos (como el proceso Fenton) la ventaja de la facilidad de separación del producto.
- **Procesos Fotocatalíticos:** Se basa en la fotoexcitación de un semiconductor sólido como resultado de la absorción de radiación electromagnética, en general en la zona del ultravioleta próximo. Los mejores resultados se obtienen para pH ligeramente ácidos y en combinación con otros generadores de hidroxilos, como el ozono o el peróxido de hidrógeno.

La fotocatalisis es un proceso catalítico promovido por energía de determinada longitud de onda, capaz de excitar a un catalizador (semiconductor) al grado de hacer que se comporte como un material conductor en cuya superficie se desarrollarán reacciones de óxido-reducción. Éstas generan radicales libres muy reactivos, mismos que atacarán a las especies a su alrededor rompiendo los enlaces moleculares y oxidándolas o reduciéndolas hasta convertirlas en especies menos complejas. Esta reducción en la complejidad molecular generalmente se traduce en una reducción del grado de contaminación o peligrosidad de la especie que se esté tratando.

Entre las principales ventajas del uso de la lámpara UV se enumeran las siguientes:

- El bajo costo de inversión inicial, así como también reducción de gastos de operación cuando se compara con tecnologías similares.
  - Proceso de tratamiento inmediato, ninguna necesidad de tanques de retención.
  - Ningún cambio en el olor, pH o conductividad.
  - La operación automática sin mediciones o atención especial.
  - La simplicidad y facilidad de mantenimiento, período de limpieza y reemplazo anual de lámpara, sin partes móviles.
  - Ninguna manipulación de químicos tóxicos, ninguna necesidad de requerimientos especializados de almacenaje.
  - La instalación fácil, dos conexiones de agua y una conexión de energía.
  - Es compatible con cualquier proceso de tratamiento de agua, por ejemplo: ósmosis inversa, destilación, intercambio iónico, etc.
- **Membranas:** Son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, impidiendo su íntimo contacto y restringiendo el movimiento de las moléculas a través de ella de forma selectiva. Este hecho permite la separación de las sustancias contaminantes del agua, generando un efluente acuoso depurado.
  - **Adsorción:**

Para el tratamiento de efluentes coloreados se han utilizado distintas metodologías físico-químicas, tales como la floculación, intercambio iónico, ozonización e irradiación, entre otras. Pese a su eficiencia considerable en la decoloración, la mayoría de estos procesos implican costos elevados o la formación de subproductos más tóxicos e indeseados como los lodos.

Desde esta perspectiva, la adsorción representa un método alternativo y novedoso para el tratamiento de efluentes coloreados debido a su alta eficiencia y a la posibilidad de reutilización del material adsorbente. Para este propósito se han implementado usualmente carbones activados y resinas sintéticas, con los cuales se ha logrado remover satisfactoriamente colorantes; no obstante, su alto precio y reducido rango de polaridad los convierte en materiales poco apropiados para el diseño de estrategias a gran escala. En este sentido, el uso de residuos agroindustriales constituye

una opción innovadora debido a su alta disponibilidad, mínimo valor económico e impacto ambiental favorable al aprovechar material de desecho.

Álvares et al (2011) utilizó cascarilla de arroz en su investigación “*Remoción de rojo básico de un efluente textil simulado: un caso de aplicación de la cascarilla de arroz*”, y determinó que esta muestra gran capacidad adsorbente para la remoción tanto de metales como de colorantes en solución. Considerando la gran disponibilidad de cascarilla de arroz en nuestro medio y los problemas de acumulación que ella genera, además de su bajo costo, representa una materia prima de mucho interés para el tratamiento de las aguas del sector textil.

Los resultados obtenidos en la investigación fueron los siguientes:

- Remoción del tinte de 80 – 90% para concentraciones de 20 mg/L
- Remoción del tinte de 60 – 85 % para concentraciones de 3 g/L

Lasri et al (2007), utilizó aserrín de madera como biosorbente en su investigación “*Removal of Two Cationic Dyes from a Textile Effluent by Filtration-Adsorption on Wood Sawdust*”, Los experimentos de adsorción se realizaron mediante la suspensión de aserrín en el efluente y el análisis de sobrenadante por espectrofotometría. La eficacia del proceso de tratamiento se evaluó mediante la medición de la coloración. El proceso se realiza en constante agitación magnética. Los resultados experimentales mostraron un potencial significativo para el aserrín de madera, especialmente el de coníferas, para eliminar colorantes catiónicos de los efluentes textiles. En la investigación se concluye que:

- La Filtración-Adsorción utilizando un biosorbente barato y fácilmente disponible proporciona un tratamiento alternativo atractivo para la eliminación de tinte.
- Para no generar residuos y poder reutilizar el material biosorbente se debe implementar un nuevo proceso de tratamiento para este.
- Se alcanzó un porcentaje de remoción de tinte superior al 90%.

## **2.2.5 Marco Legal**

El Ministerio del Ambiente (MINAM) establece la siguiente norma legal para la protección de los recursos hídricos:

### **2.2.5.1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua**

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 de Calidad para Aguas de Uso Industrial**

Se entiende por uso industrial del agua su empleo en actividades como:

- Procesos industriales y/o manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexos o complementarios;
  - Generación de energía y
  - Minería.

Para el uso industrial, se deberán observar los diferentes requisitos de calidad correspondientes a los respectivos procesos, aplicando el criterio de tecnología limpia que permitirá la reducción o eliminación de los residuos (que pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos).

#### **2.2.5.2 Normas Generales para la Descarga de Efluentes al Sistema de Alcantarillado (MINAM)**

- Se 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. Es mandatorio que el caudal reportado de los efluentes generados sea respaldado con datos de producción.
- 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.
- Se prohíbe la utilización de cualquier tipo de agua, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados.
- 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.

- Se prohíbe toda descarga de residuos líquidos a las vías públicas, canales de riego y drenaje o sistemas de recolección de aguas lluvias y aguas subterráneas.
- Los sistemas de drenaje para las aguas domésticas, industriales y pluviales que se generen en una industria, deberán encontrarse separadas en sus respectivos sistemas o colectores.
- Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado, o hacia un cuerpo de agua, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.
- Se prohíbe la infiltración al suelo, de efluentes industriales tratados y no tratados, sin permiso de la Entidad Ambiental de Control.

En la Resolución Ministerial N°055-2005-PRODUCE, se presentan los informes que deben disponer los titulares a cargo de actividades industriales manufactureras entre ellas textiles, para iniciar el proceso de adecuación ambiental de sus operaciones, en base a normas, obligaciones y compromisos establecidos en el Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera vigente.

El Informe Ambiental que debe presentar la empresa, deberá contener obligatoriamente los resultados de monitoreos efectuados en sus efluentes líquidos, de todos los parámetros principales que se describen en la Tabla N° 03. En la Tabla N° 04 se muestran los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes en el sistema de alcantarillado público.

**Tabla N° 03. Parámetros de Selección en Efluentes Líquidos para la actividad de Textiles.**

Efluentes Líquidos		
Caudal	m <sup>3</sup> /h	Principal
pH	mg/l	Principal
Temperatura	mg/l	Principal

Sólidos Suspendidos Totales, SST	mg/l	Principal
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO <sub>5</sub>	mg/l	Principal
Aceites y Grasas, AyG	mg/l	Principal
Plomo, Pb	mg/l	Principal
Arsénico, As	mg/l	Complementario
Cadmio, Cd	mg/l	Complementario
Cromo Hexavalente, Cr 6+	mg/l	Complementario
Mercurio, Hg	mg/l	Complementario
Otros debidamente justificados		Complementario

Fuente: Resolución Ministerial N°055-2005-PRODUCE

**Tabla N° 04. Límites Máximos Permisible de descarga al sistema de alcantarillado público.**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
<b>pH</b>		<b>6,5 – 8,5</b>
<b>Sólidos totales en Suspensión</b>	<b>mg/L</b>	<b>150</b>
<b>Sólidos Sedimentables</b>	<b>mg/L</b>	<b>20</b>
<b>Aceites y Grasas</b>	<b>mg/L</b>	<b>20</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	<b>mg/L</b>	<b>100</b>
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	<b>mg/L</b>	<b>200</b>
<b>Temperatura</b>	<b>°C</b>	<b>&lt; 35</b>

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010 Ministerio del Ambiente



### 3. RESULTADOS

#### 3.1 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA HILANDERÍA LA INMACULADA S.A.C.

##### 3.1.1 La Empresa

LA INMACULADA S.A.C. con número de RUC: 20480656947, se encuentra ubicada en Ca. Carolina N° 780, PPJJ Medio Mundo, distrito José Leonardo Ortiz en Lambayeque. Desde el 2009, se dedica a la fabricación y comercialización de hilados que se distribuyen en distintos mercados en otros departamentos del país.

Sus instalaciones se asientan en un terreno de su propiedad, en una superficie de construcción de 650 m<sup>2</sup>.

##### 3.1.1.1 Clientes

Las madejas de fibra acrílica son distribuidas en el mercado local y en algunas regiones como La Libertad, Piura, Amazonas, Cajamarca y San Martín.

##### 3.1.1.2 Descripción del sistema de producción

###### a) Materiales Directos

- **Madejas de fibra acrílica en crudo:** Son las madejas que han sido hiladas a partir de fibras acrílicas y que aún no se han teñido, su color es blanco marfil (ligeramente amarillento).
- **Tintes Químicos Básicos (Catiónicos):** Son la principal materia prima para el proceso de teñido, los distintos colores son obtenidos de las mezclas de estos.
- **Agua:** Se utiliza en las autoclaves para el teñido y también para producir el vapor en el caldero.
- **Acido Fórmico:** Utilizado como fijador y regulador de pH, necesario para lograr un teñido de buena calidad.
- **Soda Cáustica en polvo (NaOH):** Se utiliza para el mercerizado del hilo, este tratamiento ayuda a aumentar su brillo y sedosidad, además ayuda a adherir el tinte en las fibras.
- **Cloruro de Sodio (Na Cl):** Usado para la estandarización de la intensidad del tinte y fijación del color en las fibras textiles, al utilizarla los colorantes se adhieren mejor al hilo, dándole un color más intenso, homogéneo y duradero.

- **Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>):** Utilizado como blanqueador para la obtención de las madejas de color blanco, añadiéndole un alto grado de blancura.

#### **b) Materiales Indirectos**

- **Bolsas de Polietileno:** Se utilizan para el empaquetado de los productos, con capacidad de 200 madejas por bolsa.
- **Carbón:** Utilizado como combustible para el caldero que produce el vapor para el calentamiento de las autoclaves.

#### **c) Mano de Obra**

El proceso está dirigido por 01 operario calificado por turno, que se encarga de programar los lotes que se teñirán día a día, y verificar que todo el proceso se lleve a cabo correctamente.

En la empresa se cuenta con 03 operarios por turno, para el manejo de la caldera, el embastonado de las madejas y para el control de las autoclaves. Se trabajan 2 turnos de 8 horas por día de lunes a domingo.

#### **d) Maquinarias y Equipos**

Para el proceso de teñido se cuenta con 02 autoclaves, 01 secadora centrífuga, 01 caldero, 02 balanzas digitales, y armarios para el embastonado de las madejas de hilo.

#### **e) Residuos**

Durante el proceso de teñido se generan grandes cantidades de aguas residuales que son eliminadas directamente por el desagüe. Además se generan cenizas y gases de combustión en la caldera.

#### **f) Productos**

En la hilandería La Inmaculada S.A.C. el producto obtenido es el siguiente:

- Madejas de Hilo de 150g/pza.

#### **Especificaciones:**

- Material: 100% Fibra Textil
- Peso: 150 g/pza.
- Longitud: 120 m/pza.
- Estampado: Teñido

- Paquete: 200 pzas.
- Carta de Colores: 96 colores.



**Figura N° 01. Madejas de Hilo de la empresa La Inmaculada S.A.C.**

### **3.1.1.3 Proceso del Teñido de las Madejas de Fibra Acrílica.**

- **Recepción de Materia Prima:** Las madejas de fibra acrílica (crudas), llegan a la empresa por medio de camiones, provenientes de la ciudad de Lima, en bolsas de 200 unidades por bolsa, las que son depositadas en el almacén de la planta.
- **Embastonado:** En esta operación se prepara el hilo en crudo para ser ingresado a las autoclaves para su posterior teñido. Los armarios para el embastonado tienen la capacidad de 400 madejas (20 bastones de 20 madejas).
- **Teñido:** Es el proceso que se lleva a cabo en las autoclaves, la absorción de colorantes empieza cerca de los 90°C. La temperatura final no debería pasar de los 100°C a los 102°C, dado que encima de esta temperatura la fibra muestra una mayor tendencia al encogimiento y pierde cualidades físicas. El proceso tarda 80 min aproximadamente.

En la Hilandería La Inmaculada S.A.C. se utilizan los tintes básicos o catiónicos, la fibra acrílica no requiere un tratamiento de lavado previo a la tintura, puesto que los ensimajes que contienen de origen son emulsionables durante el proceso de tintura. No tienen influencia alguna durante este proceso.

A continuación se presenta una lista de los tintes utilizados en la Hilandería La Inmaculada S.A.C.:

- Amarillo Brillante Básico GL
- Violeta Básico
- Amarillo Oro Básico GL
- Verde Malaquita Cristales
- Azul Básico
- Azul Turquesa Básico
- Rojo Básico
- Negro Básico 1
- Flavina Básico

En los Anexos N° 01 - 09, se muestran las fichas técnicas de cada uno de los tintes.

Auxiliares de Teñido:

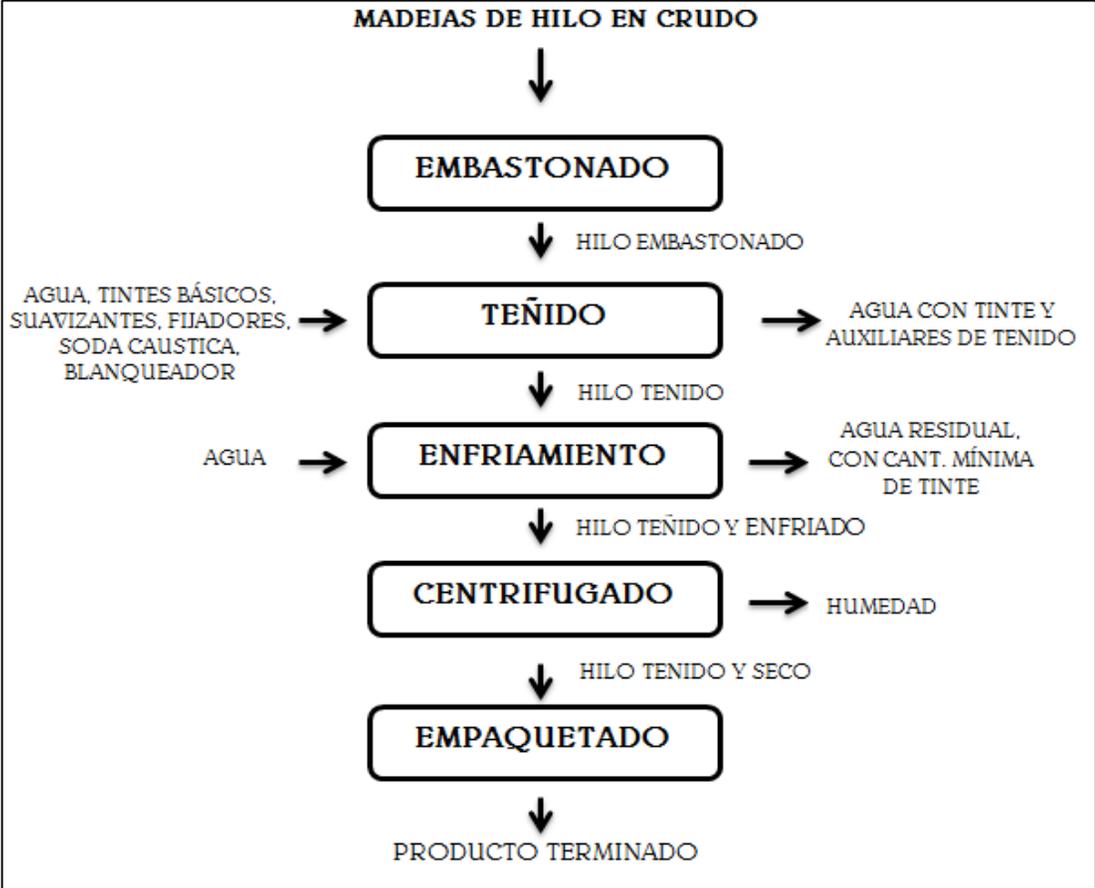
- Ácido Fórmico (Fijador y Agente Reductor)
- Soda Caustica (Mercerizado)
- Cloruro de Sodio (Fijador)
- Peróxido de Hidrógeno (Blanqueador)

En los Anexos N° 10 - 14, se muestran las fichas técnicas de cada uno de los auxiliares del teñido.

- **Enfriamiento:** Esta operación se da una vez culminado el proceso de teñido, vaciando el agua caliente de las autoclaves e ingresando agua fría con la cual permanecerá por un periodo de 30 minutos aproximadamente.
- **Centrifugado:** Se realiza para lograr el secado de las madejas que salen de las autoclaves con agua de enfriamiento entre sus fibras.
- **Empaquetado:** El producto es empaquetado en bolsas de 200 madejas, tal y como llegan como materia prima, y luego es llevado al almacén.
- **Almacenamiento del producto terminado:** Se almacenan los paquetes que contienen las madejas donde estarán por un periodo corto hasta ser enviadas al cliente.

El proceso es el mismo para todos los colores de madejas que se deseen teñir, la diferencia radica en las combinaciones de los tintes que se hacen de acuerdo a los colores solicitados por los clientes, estos colores son obtenidos de las combinaciones de los tintes, que se basa en fórmulas estandarizadas con los pesos de cada uno de los tintes que se requiere para obtener el color que se desee producir.

En la Figura N° 02 se muestra el Diagrama de Flujo del Proceso de Teñidos de Madejas de Fibra Acrílica.

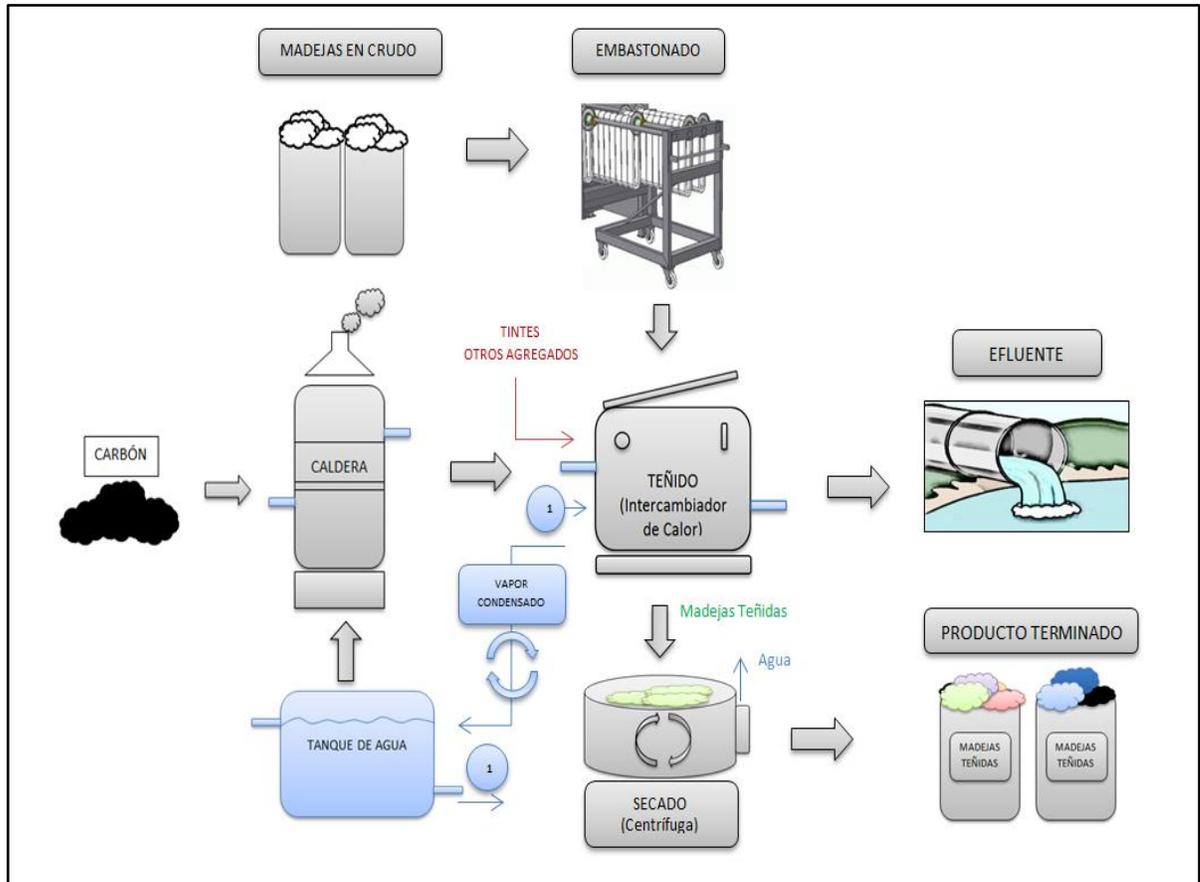


**Figura N° 02: Diagrama de Flujo del Proceso de Teñido de Madejas de Fibra Acrílica, de la Hilandería La Inmaculada S.A.C.**

**3.1.2 Cantidad de Agua Residual Vertida**

La cantidad de agua se determinó de manera experimental, midiendo y registrando los volúmenes de agua utilizados para el teñido de cada lote de madejas, luego se calculó un volumen de agua promedio utilizado para cada unidad producida.

Como se aprecia en la Figura N° 03, el proceso de teñido se realiza en las autoclaves, de capacidad de 2300 litros y se utiliza una relación de baño de 1:35 (35 litros de agua por kg de producto).



**Figura N° 03. Proceso de Teñido de fibras textiles en la Hilandería La Inmaculada S.A.C.**

En el proceso de teñido ingresan 400 madejas, de 150 g cada una, teniendo en cuenta la relación de baño que se maneja en la planta, el volumen de agua inicial que se utiliza por cada lote para el proceso de teñido es el siguiente:

$$\text{Vol. de agua por lote} = 35 \frac{l}{kg} \times 400 \frac{\text{madejas}}{\text{lote}} \times 0,15 \frac{kg}{\text{madeja}}$$

$$\text{Vol. de agua por lote} = 2100 \text{ l/lote}$$

Después de realizarse el teñido, se desecha toda el agua del proceso de las autoclaves y por un periodo de 5 minutos se deja en reposo las madejas para poder extraer la mayor cantidad de agua, luego se realiza un enjuague de las madejas ingresando en las autoclaves agua limpia hasta alcanzar un volumen de 2100 litros, pero debemos tomar en cuenta que al retirar el agua de teñido, en las madejas queda una determinada cantidad de agua después de haber pasado el periodo de reposo.

Las madejas tienen una densidad de  $1,25 \text{ g/cm}^3$ , y un porcentaje de absorción de agua del 50% después de haber pasado el periodo de reposo.

$$\text{Vol. de las madejas por lote} = 0,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{g} \times \frac{150 \text{ g} \times 0,5}{\text{madeja}} \times \frac{400 \text{ madejas}}{\text{lote}}$$

$$\text{Vol. de las madejas por lote} = 0,02 \frac{\text{m}^3}{\text{lote}} = 24 \frac{l}{\text{lote}}$$

Entonces el volumen de agua limpia necesaria para el enjuague, será:

$$\text{Vol. de agua de enjuague por lote}$$

$$= \text{Vol. de agua por lote} - \text{Vol. de agua presente en las madejas}$$

$$\text{Vol. de agua de enjuague por lote} = 2100 \frac{l}{\text{lote}} - 24 \frac{l}{\text{lote}}$$

$$\text{Vol. de agua de enjuague por lote} = 2076 \text{ l/lote}$$

Finalmente se extrae el agua de enjuague de las autoclaves y se desecha, la cantidad desechada será 2076 litros, y los otros 24 litros de agua presente en las madejas son eliminados en el proceso de secado por centrifugación.

El volumen de agua total necesaria para extraer un lote de madejas al final del proceso de teñido, y que es desechada es:

*Vol. total de agua por lote = Vol. de agua inicial + Vol. de agua de enjuague*

*Vol. total de agua por lote = 2100 l + 2076 l*

***Vol. total de agua por lote = 4176 l = 4,18 m<sup>3</sup>***

Las cantidades de agua utilizadas se obtuvieron con los datos de producción proporcionados por la empresa, obteniendo el número de lotes vendidos por trimestre. En la Tabla N° 05 se muestra el consumo de agua en el proceso de teñido de la Hilandería La Inmaculada S.A.C.

**Tabla N° 05. Generación de Agua Residual en el proceso de Teñido de la Hilandería La Inmaculada S.A.C.**

Periodo	Ventas (cientos de madejas)	Número de lotes	Cantidad de Agua utilizada (m <sup>3</sup> )	Generación de Agua Residual (m <sup>3</sup> /año)
---------	-----------------------------	-----------------	--	---

<b>2010</b>	<b>1er Trimestre</b>	2 015	503,8	2 103,7	<b>8 211,1</b>
	<b>2do Trimestre</b>	2 005	501,3	2 093,2	
	<b>3er Trimestre</b>	1 860	465,0	1 941,8	
	<b>4to Trimestre</b>	1 985	496,3	2 072,3	
<b>2011</b>	<b>1er Trimestre</b>	2 118	529,5	2 211,2	<b>8 474,1</b>
	<b>2do Trimestre</b>	2 007	501,8	2 095,3	
	<b>3er Trimestre</b>	2 032	508,0	2 121,4	
	<b>4to Trimestre</b>	1 960	490,0	2 046,2	
<b>2012</b>	<b>1er Trimestre</b>	2 324	581,0	2 426,3	<b>9 302,0</b>
	<b>2do Trimestre</b>	2 150	537,5	2 244,6	
	<b>3er Trimestre</b>	2 266	566,5	2 365,7	
	<b>4to Trimestre</b>	2 170	542,5	2 265,5	
<b>2013</b>	<b>1er Trimestre</b>	2 380	595,0	2 484,7	<b>9 417,9</b>
	<b>2do Trimestre</b>	2 195	548,8	2 291,6	
	<b>3er Trimestre</b>	2 290	572,5	2 390,8	
	<b>4to Trimestre</b>	2 156	539,0	2 250,9	
<b>2014</b>	<b>1er Trimestre</b>	2 283	570,8	2 383,5	<b>9 493,1</b>
	<b>2do Trimestre</b>	2 241	560,3	2 339,6	
	<b>3er Trimestre</b>	2 302	575,5	2 403,3	
	<b>4to Trimestre</b>	2 267	566,8	2 366,7	

*Fuente: Hilandería La Inmaculada S.A.C.*

### **3.1.3 Características fisicoquímicas de las aguas residuales**

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para la realización del proyecto y la búsqueda de la gestión de la calidad medioambiental.

Para determinar la naturaleza del efluente se realizó la toma de las muestras, siguiendo el procedimiento que se describe a continuación, (IDEAM, 2007).

- Una vez ubicado en el lugar donde se tomó la muestra, se debe descargar y ubicar correctamente los equipos a utilizar, en este caso cronómetro, termómetro, recipientes y frascos.
- Se etiquetaron los frascos para poder identificar correctamente las muestras.
- Se midió la temperatura utilizando un termómetro y un recipiente de vidrio.
- Se midió el caudal por el método volumétrico manual, empleando el cronómetro y un recipiente (balde) previamente adecuado para una correcta medición,
- Se tomaron las muestras y se llenaron en frascos de vidrio de 1 litro. Se llenaron los frascos en su totalidad para evitar en lo posible que quede aire dentro de los mismos.
- Se aseguraron las muestras con cinta adhesiva en las tapas y se ubicaron dentro de un cooler para mantener las muestras a baja temperatura, hasta ser transportadas al laboratorio donde fueron analizadas.

La toma de las muestras se realizó una vez terminado el proceso de teñido, exactamente al momento en que las aguas que fueron descargadas de las autoclaves,

Los análisis que se realizaron fueron: pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, Sólidos Suspendidos Totales y Conductividad. Estos análisis fueron realizados en los laboratorios de la empresa EPSEL S.A., los mismos que permitieron conocer las condiciones de las aguas residuales para darles el tratamiento más adecuado.

En el Anexo N° 15, se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que se realizaron a dos muestras de aguas residuales que fueron extraídas del proceso de teñido de las fibras textiles para el color Amarillo Retama (color claro) y Azul Marino (color oscuro).

Estos colores se eligieron para tomar en cuenta las características fisicoquímicas de los efluentes de los colores claros y oscuros, siendo estos últimos los que presentan mayor cantidad de tinte; esto permitió que los resultados de los análisis dieran un enfoque general del efluente.

Para poder realizar un análisis de los resultados obtenidos, se realizó la siguiente tabla, en la que se confrontan los parámetros analizados y sus resultados, frente a los Límites Máximos Permisibles (LMP) que dispone la autoridad del medio ambiente (MINAM).

**Tabla N° 06. Comparación de los resultados de los análisis y los LMP de descarga al sistema de alcantarillado público,**

Parámetros	Muestra		LMP
	Amarillo Retama	Azul Marino	
pH	3,99	3,75	6,5 - 8,5
DBO <sub>5</sub> mg/L	126,23	190,58	100
DQO mg/L	240	261	200
SST mg/L	100	100	150
Conductividad uS/cm	662	1072	1500
Temperatura °C	66	68	<35

Como se puede apreciar en la Tabla N° 06, los valores de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y conductividad se encuentran dentro de los parámetros de los Límites Máximos Permisibles (LMP). En el caso de los parámetros pH, DBO<sub>5</sub> y DQO, se encuentran fuera de los LMP, por lo que se deberá asegurar la reducción de estos con el tratamiento del efluente que se proponga.

La temperatura sobrepasa los valores permitidos para la descarga en el alcantarillado, pues el efluente es descargado a temperaturas mayores a los 60°C.

Para determinar la concentración de tinte en las aguas residuales de la hilandería La Inmaculada S.A.C. se tomó como fuente de información el estudio de tratamiento de aguas residuales textiles por ozonización “Tratamiento de tintes industriales textiles por ozonización simple con recirculación de agua” (Poznyak et al, 2007), entre otras.

Los principales tipos de tinte son: reactivos, directos y básicos, cada uno de ellos genera un nivel de concentración distinto en el efluente después de realizar un proceso de teñido. La empresa La Inmaculada S.A.C. utiliza tintes básicos y los niveles de concentración oscilan entre 5 mg/l y 35 mg/l, tal como lo indica la Tabla N° 07; estos resultados han sido determinados mediante pruebas de espectrofotometría en investigaciones anteriores.

**Tabla N° 07. Concentración del tinte en las aguas residuales, de acuerdo al tipo de tinte utilizado en el proceso de teñido.**

Tipo de Tinte	Concentración, mg/L
Reactivo	50 - 250
Directo	15 - 75
Básico	5 - 35

Debido a las limitaciones de los laboratorios en los que se han realizado los análisis, no se ha podido realizar un análisis de espectrofotometría de los efluentes. Sin embargo, se cuenta con la información de otras investigaciones realizadas, en la Tabla N° 08, se muestran los resultados de otras investigaciones.

**Tabla N° 08. Resultados de las concentraciones de tinte, presente en efluentes estudiados en otras investigaciones.**

Tipo de Tinte analizado	Condiciones	Concentraciones resultantes	Fuente
Reactivo	pH = Neutro (Color: Azul Reactivo)	168 mg/L 100 mg/L	Rodriguez et al, 2008
	pH = 11,78 Sólidos totales = 13,89 mg/L (Color: Indigo)	437,17 mg/L	Quintero et al, 2011
	pH = 6,5 - 6,9 (Color: Reactive Black)	90 - 225 mg/L	Poznyak et al,2007
Directo	pH = 6-7 (Color: Remazol Negro)	36 mg/L	Rodriguez et al, 2008
	pH = 6,5 - 6,9 (Color: Direct Red)	12,5 - 75 mg/L	Poznyak et al,2007
Básico	pH = 8 (Color = Rojo Básico)	20 mg/L	Álvares et al, 2011
	pH = 6,5 - 6,9 (Color: Basic Green)	5 - 12,5 mg/L	Poznyak et al,2007

### **3.2 IDENTIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO MÁS ADECUADO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA HILANDERÍA LA INMACULADA S.A.C. PARA SU REUTILIZACIÓN.**

Para el desarrollo del segundo objetivo, se investigó acerca de los diversos tratamientos de aguas residuales de la industria textil, y se evaluó cuál es el más adecuado, para ello se utilizó el Método de Factores Ponderados (Heizer y Barry, 2007), tomando como criterio de evaluación y selección, las características obtenidas de las aguas residuales de la empresa, la factibilidad técnica (capacidad, área disponible, distribución, diseño, recursos, etc.) y la posibilidad de reciclaje del agua tratada.

En general, el color de las aguas se modifica muy poco durante los tratamientos biológicos, lo que demuestra el carácter no biodegradable de las moléculas responsables. Además, como consecuencia de la toxicidad creciente de los contaminantes y de su carácter inhibitorio a la digestión aeróbica, así como una legislación cada vez más estricta, se ha hecho necesario el desarrollo de nuevas tecnologías (Benítez et al, 2000).

### **3.2. 1 Determinación del tipo de tratamiento de aguas residuales textiles más adecuado en base a factores predominantes**

Para la determinación del tipo de tratamiento de aguas residuales textiles más adecuado se tomó en cuenta la información del punto 2.2.4 del marco teórico (Tratamientos de aguas residuales) y además, se utilizó el Método de los Factores Ponderados, para el cual se consideraron los siguientes factores:

#### **3.2.1.1 Factores**

##### **a) Eficiencia de remoción**

Para este factor se tomó en cuenta la eficiencia de remoción del colorante presente en las aguas residuales, que brinda cada uno de los procesos a evaluar, expresado en porcentaje. Cabe resaltar que se evaluaron tratamientos de aguas residuales que brindan un alto porcentaje de decoloración de las aguas. La tabla N°09 muestra los porcentajes de decoloración de cada uno de los tratamientos que se evaluaron:

**Tabla N° 09. Porcentajes de decoloración de cada uno de los tratamientos que se evaluaron.**

Tipo de Tratamiento	% Eficiencia de Remoción del Tinte	Fuente
Oxidación Húmeda	90 - 95	CONAMA Chile (2010)
Ozonización	96 - 98	Rodríguez et al (2008)
Fotocatálisis	90 - 98	Garcés et al (2005)
Adsorción	60 - 90	Álvarez et al (2011)

## b) Costos de tecnología

Se evaluó el costo de la tecnología que se tendrá que adquirir para poder llevar a cabo el proyecto y la disponibilidad de recursos de inversión con los que se podrían contar para invertir en el mismo.

La inversión necesaria para un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de Adsorción, se calculó tomando como referencia la fórmula que propone la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, Chile), en su estudio titulado “Tecnologías de Adsorción con Carbón Activado, Tecnología no Convencional de tipo Físico-Químico” (2010).

### **Inversión (US\$) con caudal de tratamiento Q (m<sup>3</sup>/d), para tratamiento de uso industrial:**

$$\text{Inv (US\$)} = 3\ 255,4 * Q^{0.6}$$

$$\text{Inv (US\$)} = 3\ 255,4 * 40^{0.6}$$

$$\text{Inv (US\$)} = 29\ 774,22$$

El cálculo de la inversión necesaria para un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de Oxidación Húmeda, se realizó tomando como referencia la fórmula que propone la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, Chile), en su estudio titulado Oxidación Húmeda, “Tecnología Convencional de tipo Físico-Químico” (2010).

### **Inversión (US\$) con caudal de tratamiento Q (m<sup>3</sup>/d):**

$$\text{Inv (US\$)} = 18\ 929 * Q^{0.6}$$

$$\text{Inv (US\$)} = 18\ 929 * 40^{0.6}$$

$$\text{Inv(US\$)} = 17\ 312,65$$

Para el cálculo de las inversiones necesarias para los sistemas de tratamiento por Ozonización y Fotocatálisis, se tomó como criterio base la utilización de la fórmula de la Ley de Williams, que relaciona la inversión y capacidad de dos proyectos.

$$I_2 = I_1 \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right)^k$$

$I_1$ : Inversión del proyecto modelo.

$Q_1$ : Capacidad del proyecto modelo.

$I_2$ : Inversión para el proyecto del estudio.

$Q_2$ : Capacidad del proyecto del estudio.

$k$ : Coeficiente de inversión. (0,62 para plantas industriales)

Las inversiones y capacidades de cada tratamiento fueron extraídas de estudios que utilizaron cotizaciones reales, y dado que no se cuenta con la facilidad para poder realizar estas cotizaciones directamente con empresas que ofrezcan estas tecnologías, se recurre a este criterio, que es válido y de un alto nivel de confiabilidad, se muestran a continuación los valores de las inversiones y capacidades:

**Tabla N° 10. Inversiones y capacidades de tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales.**

Tipo de Tratamiento	Inversión ( $I_1$ )	Capacidad ( $Q_1$ ) $m^3/día$	Fuente
Ozonización	\$ 393 250,00	378,5	United States Environmental Protection Agency (2009)
Fotocatálisis	\$ 5 412,04	0,5	Pilot Plant Design for use in Solar Photocatalytic Degradation Applications (Rivas, 2006)

Para el proyecto se propuso tecnología con una capacidad de 40  $m^3/día$ , para poder proyectarse y tener capacidad disponible frente a un aumento de la capacidad de la

planta, utilizando la fórmula de Inversión y Capacidad se obtuvieron los costos de inversión de cada tecnología para nuestro proyecto.

**Tabla N° 11. Costos de inversión de las tecnologías de Ozonización y Fotocatálisis para el tratamiento de las aguas residuales.**

Tipo de Tratamiento	Inversión (I1)	Capacidad (Q1) m <sup>3</sup> /día	Capacidad (Q2) m <sup>3</sup> /día	Inversión (I2)
Ozonización	\$ 393 250,00	378,5	40,0	\$ 97 621,41
Fotocatálisis	\$ 5 412,04	0,5	40,0	\$ 81 898,66

Los costos de la Tabla N° 11 no incluyen costos de operatividad ni mantenimiento..

**Tabla N° 12. Costos de inversión de las tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales.**

Tipo de Tratamiento	% Costo de Tecnología
Oxidación Húmeda	\$ 81 898,66
Ozonización	\$ 97 621,41
Fotocatálisis	\$ 17 312,65
Adsorción	\$ 29 774,22

Como resultado podemos apreciar que el sistema de tratamiento de aguas residuales más costoso es por ozonización, y el que requiere menor costo de inversión es el de fotocatálisis.

### c) Desechos generados al aplicar tecnología

La cantidad de desechos que se generen al aplicar el tratamiento seleccionado es importante pues permite determinar si será necesario otro procedimiento adicional para eliminar estos desechos que se generen durante el proceso de tratamiento.

El tratamiento con mayor ventaja es la ozonización, debido a que tiene un mayor porcentaje de remoción y recuperación de las aguas del efluente. Si bien la generación de lodos siempre estará presente, en este tratamiento será mínima. La adsorción es el tratamiento que generaría mayor cantidad de residuos debido a la materia prima con la que se realiza el proceso.

#### **d) Disponibilidad de tecnología:**

Se consideró cuán accesible es la tecnología para que la empresa pueda obtenerla, la facilidad para poder adquirir los equipos que sean necesarios, lugar de dónde se traerán y los costos en que se incurrirán.

El tipo de tratamiento que destaca en este factor es la Adsorción, pues no requiere de equipos costosos como los tratamientos de Oxidación húmeda, ozonización y catálisis, los cuales requieren la importación de equipos de países.

#### **e) Área de terreno requerida:**

La cantidad de terreno que se requiera para la instalación de los equipos para el tratamiento de las aguas residuales, es un indicador muy importante pues nos permitió saber si era accesible y factible su instalación dentro de la planta, que cuenta con un área libre determinada, y que condiciona directamente al momento de decidir porque tecnología se optó.

Debido a que la empresa cuenta con un área de aproximadamente 180 m<sup>2</sup>, es un factor muy importante, por ello, la ozonización se destaca por utilizar muy poca área para la instalación de un sistema de tratamiento por este método.

#### **f) Consumo de energía:**

El consumo de energía es un factor que permitió evaluar los costos de energía en los que se incurre al utilizar los distintos tipos de tecnología a analizar en esta investigación.

De acuerdo con muchas investigaciones los tratamientos más avanzados tienen como desventaja la utilización de grandes cantidades de energía, por ello la oxidación húmeda y la ozonización, en este factor tienen los puntajes mas bajos.

#### **g) Producto apto para reutilización:**

Uno de los factores más importantes para la selección de la tecnología que se propuso en esta investigación fue la aptitud del agua tratada para ser reutilizada en el proceso productivo, para lo cual se consideró que los porcentajes de remoción del tinte sean superiores al 95%, y la eliminación de otras sustancias.

La ozonización cuenta con los porcentajes de remoción más altos. Véase la Tabla N° 07.

#### **h) Mano de obra:**

Este factor nos permitió comparar los distintos tratamientos respecto a la cantidad de mano de obra que se necesite para su funcionamiento, lo cual se traduce en costos más altos en el tratamiento de las aguas y la búsqueda de personal capacitado para poder llevar a cabo las tareas que sean necesarias.

Cada uno de los tratamientos requiere de personal calificado, no existen ventajas contundentes entre los tratamientos evaluados. Sin embargo se requiere un mayor nivel de conocimiento para las tecnologías de Oxidación húmeda y Ozonización. Por lo cual tendrán una mejor calificación en la evaluación los tratamientos de Fotocatálisis y Adsorción.

#### **3.2.1.2 Confrontación de los factores**

Después de haber analizado cada factor, a cada uno de ellos asignó las siguientes letras para facilitar la interpretación en la matriz de confrontación de factores:

A = Eficiencia de Remoción.

E = Área de terreno requerida.

B = Costos de Tecnología.

F = Consumo de Energía

C = Desechos generados al aplicar tecnología.

G= Producto Apto para Reutilización

D = Disponibilidad de Tecnología

H = Mano de Obra Requerida

En la Tabla N° 13 se confrontan los factores para obtener las ponderaciones de cada uno de ellos.

**Tabla N° 13. Confrontación de factores para su ponderación.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	Conte o	Ponderad o
A		1	1	1	1	1	1	1	7	16%
B	1		1	1	1	1	1	1	7	16%
C	0	0		1	0	1	0	1	3	7%
D	0	0	1		1	1	0	1	4	9%
E	1	1	1	1		1	1	1	7	16%
F	1	1	1	1	1		0	1	6	14%
G	1	1	1	1	1	1		1	7	16%
H	0	0	1	1	0	0	0		2	5%
Total									43	100%

Los Factores más importantes para la selección del tratamiento de aguas residuales, después de haber realizado la ponderación son: Eficiencia de remoción, Costo de tecnología, Área de terreno requerida, y producto apto para reutilización.

Una vez confrontados los factores y habiendo designado una ponderación para cada uno de ellos, se calificaron de acuerdo a una “escala de calificación” para determinar el tratamiento que se eligió.

En la Tabla N° 14 se muestran las calificaciones para cada Factor Predominante de los Tratamientos y el puntaje para cada uno, como criterio para determinar cuál será el tratamiento más adecuado.

**Tabla N° 14. Escala de Calificación**

Escala	Puntaje
Excelente	10
Muy Buena	8
Buena	6
Regular	4
Mala	2

**Tabla N° 15. Calificación de los factores predominantes para cada uno de los procesos analizados en la investigación.**

Tratamientos		Oxidación Húmeda		Ozonización		Fotocatálisis		Adsorción	
Factor	Peso	Calif.	Puntaje	Calif.	Puntaje	Calif.	Puntaje	Calif.	Puntaje
<b>A</b>	16%	10	1,63	10	1,63	10	1,63	6	0,98
<b>B</b>	16%	4	0,65	6	0,98	10	1,30	8	1,63
<b>C</b>	7%	6	0,42	8	0,56	4	0,28	4	0,28
<b>D</b>	9%	6	0,56	6	0,56	6	0,74	10	0,93
<b>E</b>	16%	8	1,30	10	1,63	8	1,30	4	0,65
<b>F</b>	14%	4	0,56	4	0,56	6	0,84	8	1,12
<b>G</b>	16%	4	0,65	10	1,63	4	0,65	2	0,33
<b>H</b>	5%	6	0,28	6	0,28	8	0,37	8	0,37
<b>Total</b>		<b>6,05</b>		<b>7,81</b>		<b>7,26</b>		<b>5,95</b>	

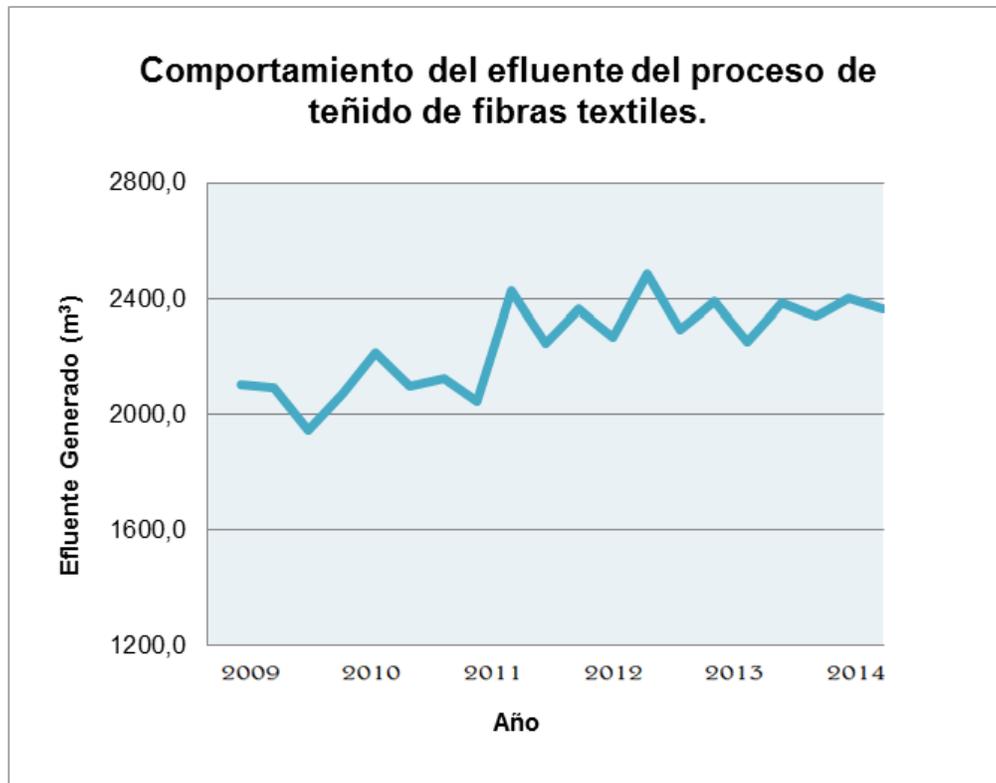
**Resultado:**

De acuerdo con la ponderación el tratamiento adecuado para las aguas residuales de la investigación es la Ozonización.

### **3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA HILANDERÍA LA INMACULADA S.A.C. PARA SU REUTILIZACIÓN**

#### **3.3.1 Pronóstico del efluente**

Se realizó el pronóstico trimestral sólo para los siguientes 4 años, debido a que el factor limitante fue la data disponible; como se mostró, solo se cuenta con registros desde el año 2010 en adelante. La Figura N° 04 muestra el comportamiento de la “demanda” del efluente (Año 2010 al 2014) en el proceso de teñido de la Hilandería La Inmaculada S.A.C.



**Figura N° 04. Comportamiento del Efluente del proceso de teñido de las fibras textiles.**

El pronóstico se realizó en el software Excel, de acuerdo al comportamiento de los datos se trabajó con el modelo de pronóstico de suavización exponencial doble (Método de Holt), debido a que los datos históricos presentan variabilidad y una tendencia creciente en el tiempo, por ello, este método resultó ser el más adecuado para dicho pronóstico. Además este método mostró el valor de error más bajo, 4%. Se trabajó con datos trimestrales para cada año, de acuerdo con la data histórica. Los resultados del pronóstico se muestran en la Tabla N° 16.

**Tabla 16. Pronóstico de las cantidades de efluente que generará la Hilandería La Inmaculada S.A.C.**

Periodo		Cantidad de Agua utilizada (m <sup>3</sup> )	Generación de Agua Residual (m <sup>3</sup> /año)
2015	1er Trimestre	2420,6	9 777,46
	2do Trimestre	2436,4	
	3er Trimestre	2452,3	
	4to Trimestre	2468,2	
2016	1er Trimestre	2484,0	10 031,28
	2do Trimestre	2499,9	
	3er Trimestre	2515,8	
	4to Trimestre	2531,6	
2017	1er Trimestre	2547,5	10 285,10
	2do Trimestre	2563,3	
	3er Trimestre	2579,2	
	4to Trimestre	2595,1	
2018	1er Trimestre	2610,9	10 538,92
	2do Trimestre	2626,8	
	3er Trimestre	2642,7	
	4to Trimestre	2658,5	

En la tabla N° 16 se puede ver que el incremento del efluente al cuarto año del pronóstico (Año 2018) supera por 1045 m<sup>3</sup> al efluente del último año (2014), pues tal y como se demuestra en la data histórica las ventas han tenido un crecimiento anual menor al 10%, lo cual se ve reflejado en la producción y por ende en la generación de efluentes.

La capacidad sugerida para la planta de tratamiento de aguas residuales es de 35 m<sup>3</sup>/día, pues en promedio para el año 2018, que es el año con mayor generación de efluentes, se tendrá 28,8 m<sup>3</sup>/día.

### **3.3.2 Cálculo del área disponible para el sistema de tratamiento de las aguas residuales.**

Para realizar la investigación se contó con el permiso de la gerencia, que se comprometió a apoyar en esta investigación facilitando todo lo que este a su alcance. En los Anexos 16 y 17 están las cartas de compromiso de la gerencia de la hilandería La Inmaculada S.A.C.

Una vez determinada la “demanda” del efluente que se tendrá en los siguientes 4 años, se determinó el área disponible en la planta, para la instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales, en el Anexo N° 18 se muestra el plano de distribución de la planta y las áreas disponibles. Además, se realizaron mediciones en el área, para la confirmación de los datos que nos muestran los planos.

La empresa cuenta con un área disponible de 180 m<sup>2</sup> aproximadamente para la instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales.

### **3.3.3 Cálculo del caudal del efluente**

Para calcular el caudal de salida de las autoclaves se utilizó el software Hcanales, que relaciona los datos de carga sobre el orificio de descarga, área del orificio de descarga, y coeficiente de descarga. En la Figura N° 05 se muestra una captura de pantalla al momento de ingresar los datos para el cálculo. Además el programa nos muestra la fórmula utilizada, así mismo, nos muestra tres coeficientes de descarga para elegir el que más se adecue al proyecto, en este caso utilizaremos el coeficiente de descarga de 0,82, pues el orificio de salida de las autoclaves es a través de un tubo.

Se utilizó la siguiente ecuación a través del programa Hcanales:

$$Q = Cd * A * \sqrt{2gh}$$

Donde:

Q = Caudal, m<sup>3</sup>/s

Cd = Coeficiente de descarga

A<sub>o</sub> = Área del orificio, m<sup>2</sup>

h = Carga sobre el orificio (altura de la superficie del agua hasta el centro del orificio), m.

Los datos utilizados fueron los siguientes:

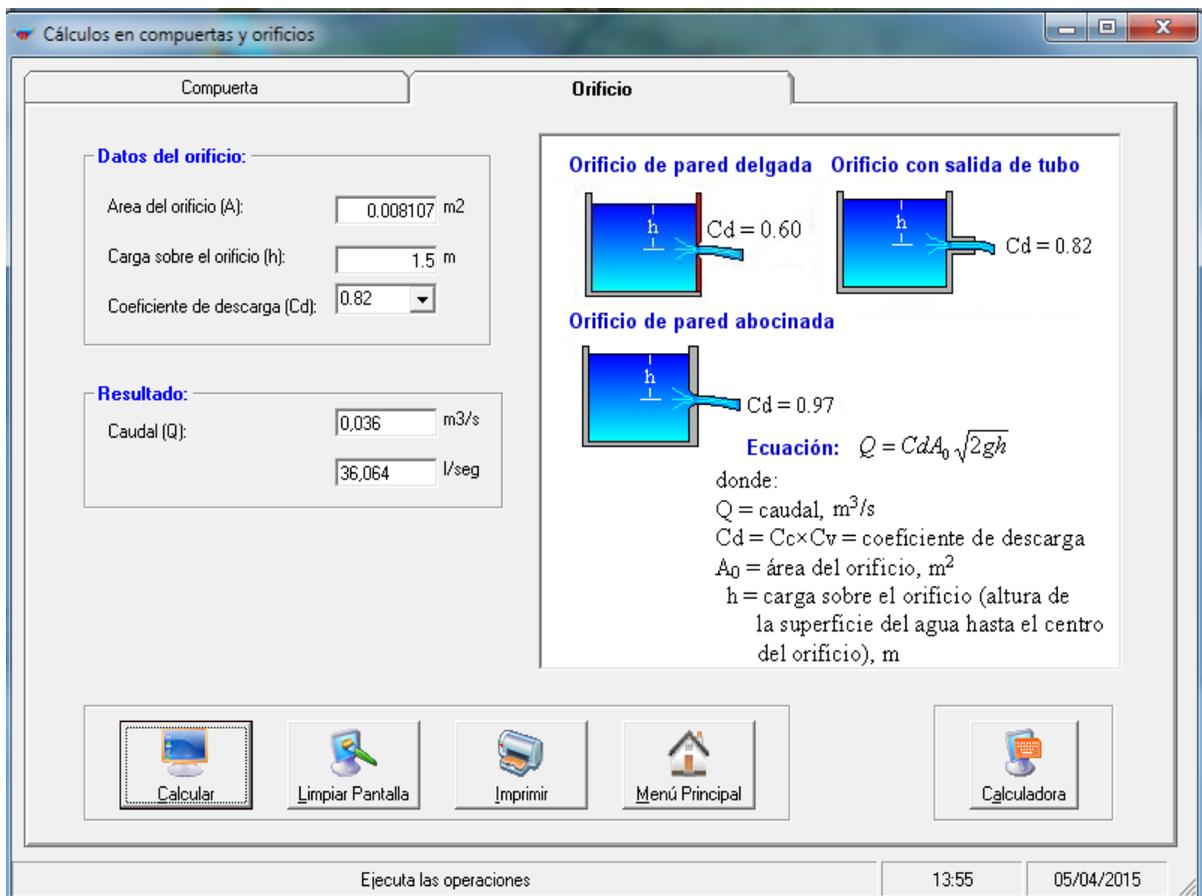
Área del orificio (A): 2 pulgadas = 0,008107 m<sup>2</sup>

Carga sobre el orificio (h): 1,5 m

Coefficiente de descarga (Cd): 0,82

Como resultado se obtuvo un caudal de salida de 0,036 m<sup>3</sup>/s, equivalente a 36,064 l/s. Este caudal calculado se multiplicará por dos, pues son dos autoclaves las que funcionan a la par en el proceso de teñido. Finalmente el caudal de salida será:

$$Q = 0,072 \text{ m}^3/\text{s} \approx 72 \text{ l/s}$$



**Figura N° 05. Cálculo del caudal de salida de las autoclaves en Hcanales.**

Fuente: Software Hcanales.

Es importante mencionar que la generación de efluentes se realiza en forma intermitente porque el proceso en estudio es por lotes (batch).

### **3.3.4 Determinación de los procesos para el tratamiento de las aguas residuales de la Hilandería La Inmaculada S.A.C.**

Para el tratamiento de las aguas mediante ozonización, que es un tratamiento avanzado, antes el efluente pasará por los tratamientos que se describen a continuación, tal como se realizó en el estudio Tratamiento Físico-Químico de Aguas Residuales de la Industria Textil (Salas, 2003).

#### **3.3.4.1 Homogenización**

Este proceso se realiza con la finalidad de obtener un caudal constante, una mezcla homogénea y controlar el pH. En este homogeneizador se instalará un agitador de paletas para hacer la mezcla del efluente.

#### **3.3.4.2 Coagulación – Flocculación**

El tinte no fijado en el hilo y que se encuentra en el efluente son partículas coloidales con poco peso, con especiales propiedades superficiales y cargadas eléctricamente. Se caracterizan por su gran estabilidad, que impide que se junten, pudiendo mantenerse indefinidamente en el seno del líquido que los contiene.

La coagulación desestabiliza estos coloides, al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, Esto se logra añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado. Las sustancias químicas cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse, aglomerados mayores de baja densidad que pueden ser separados por flotación con aire disuelto. (Salas, 2003)

#### **3.3.4.3 Flotación por aire disuelto**

Debido a que los flóculos tienen una gravedad específica cercana o menor a la del líquido del cual serán separados, no se puede pensar en la sedimentación de estos por gravedad, por ello, se debe utilizar un método alternativo como lo es el espesamiento por flotación, que es mucho más efectivo para estos casos.

La flotación por aire disuelto está basada en el hecho de que si se generan microburbujas de tamaños entre 10 a 100 micras de diámetro, estas se adhieren a los sólidos, aumentando la flotabilidad de las partículas, haciendo que se eleven a la superficie y sean separadas. (Salas, 2003)

En la Figura N° 06 se muestran las etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema de flotación con aire disuelto (DAF). Cabe resaltar que el sistema DAF integra los procesos de Coagulación-Floculación y Flotación por aire disuelto.

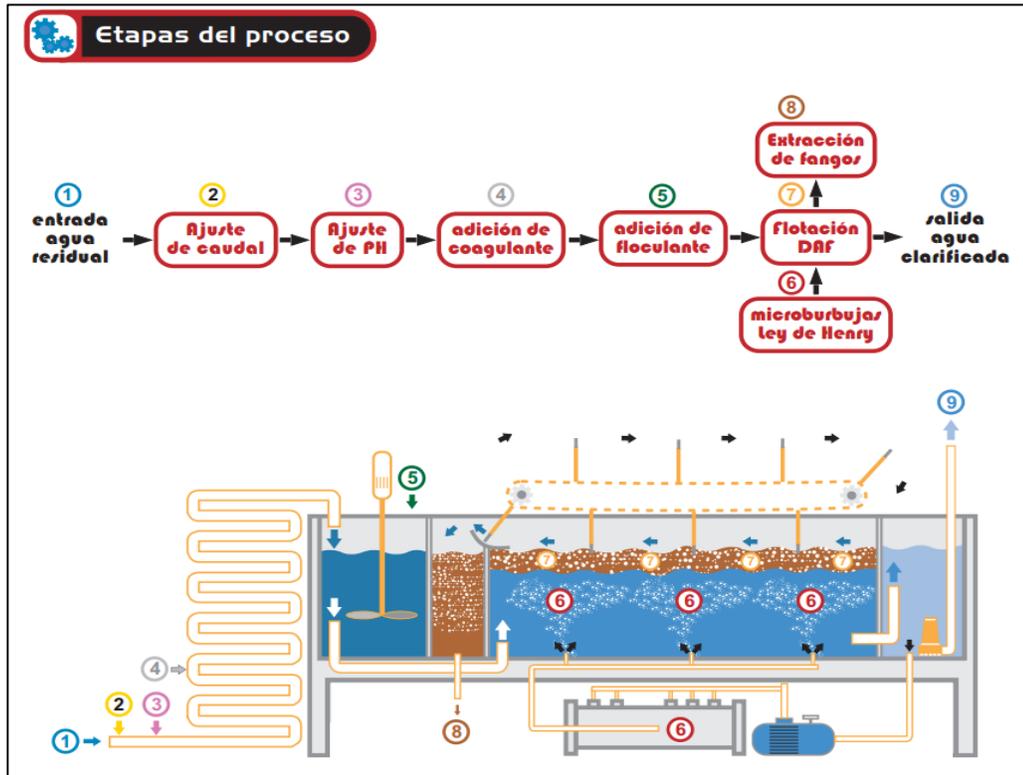


Figura N° 06. Etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales por flotación con aire disuelto.

Fuente: TOT AGUA S.L.

### 3.3.4.4. Filtración

Este proceso tiene como objetivo remover los contaminantes que se encuentran en el efluente por medio de adsorción, donde las partículas a filtrar se adhieren a la superficie de los gránulos del carbón. De esta manera se mejora la calidad del efluente para que luego pase al proceso de ozonización.

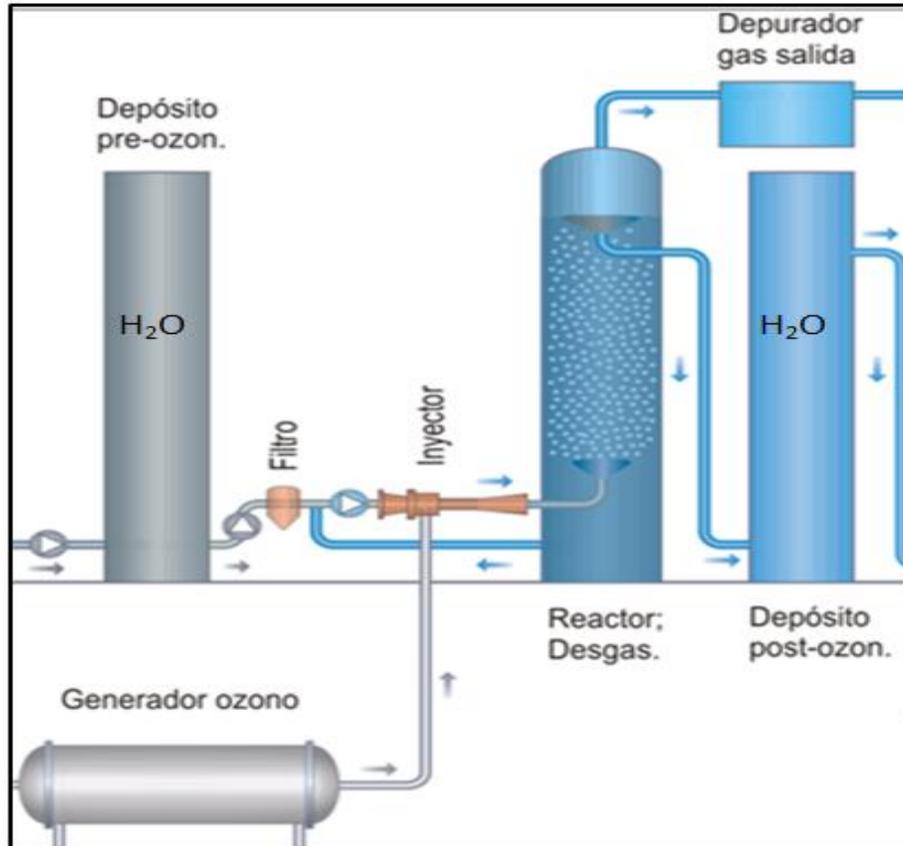
### **3.3.4.5 Ozonización**

El proceso de ozonización se realizará como tratamiento terciario, para la eliminación total del color que se encuentre en el efluente de agua residual, el cual se reutilizará en el proceso de teñido. Para que este proceso se lleve a cabo se necesitan los siguientes equipos: un generador de ozono, un inyector de ozono, un tanque de contacto de ozono y agua (reactor), y un destructor de ozono residual (depurador de gas). En la Figura N° 07, se muestra el diagrama del proceso de ozonización.

El proceso inicia con la generación de ozono a partir del oxígeno presente en el aire, dicho oxígeno es secado en el generador, para producir el ozono que más adelante se enviará mediante un inyector al tanque de contacto.

Para que el ozono cumpla su función de oxidación y desinfección, debe entrar en contacto con el agua, y dispersarse de la manera más fina posible; para lo cual, se utilizará un inyector tipo venturi.

El gas de ozono sobrante en el tanque de contacto, se hará recircular en el proceso, pero se conoce que aún así quedará ozono sobrante el cual se debe destruir mediante un destructor de ozono.



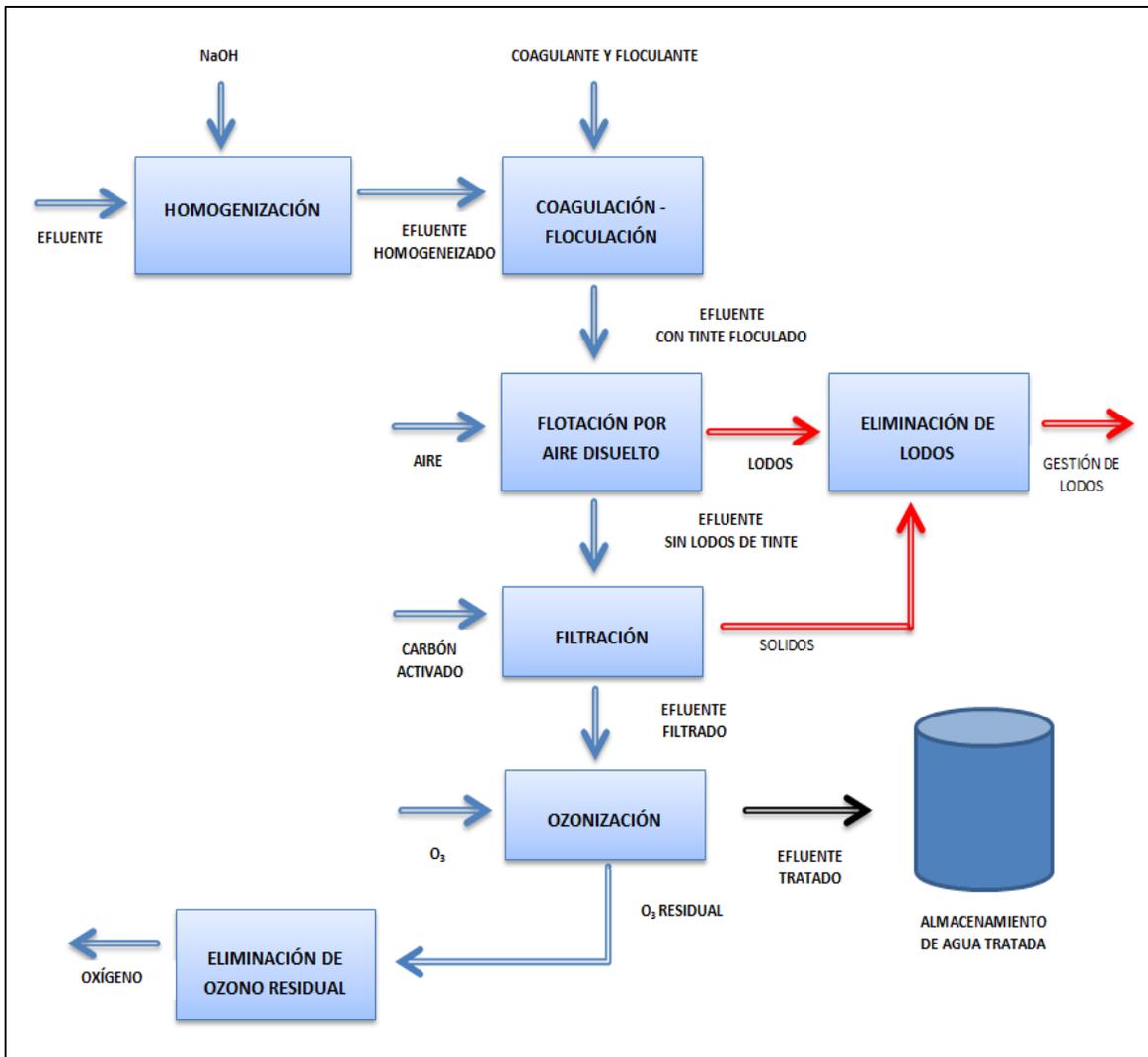
**Figura N° 07. Diagrama del proceso de Ozonización.**

Fuente: Machowetz & Partner.

Finalmente los equipos necesarios para realizar el proceso de ozonización son los siguientes:

- Generador de Ozono
- Tanque de Contacto
- Inyector de Ozono
- Destructor de ozono

En la Figura N° 08 se muestra el diagrama de proceso propuesto del sistema de tratamiento de aguas residuales para la hilandería La Inmaculada S.A.C.



**Figura N° 08. Diagrama de proceso propuesto del tratamiento de aguas residuales de la Hilandería La Inmaculada S.A.C.**

### 3.3.5. Balance de masa de los procesos.

Se realizó el balance de masa para cada uno de los procesos, tomando en cuenta las eficiencias de estos, la disminución o incremento de los parámetros como DBO, DQO, pH, etc. También se realizaron los cálculos para los residuos generados durante el proceso.

#### 3.3.5.1 Homogeneización

En este proceso se realizará el ajuste del pH, que como ya se analizó en el laboratorio, el efluente presentó un pH cercano a 4, por lo que se debe neutralizar. Se realizó el cálculo para modificar el pH a un valor de 7, para lo cual se le adicionará al efluente Hidróxido de Sodio (NaOH).

Primero se calculó la cantidad de efluente que se generará como máximo en un día de producción.

Volumen de efluente por día = (Vol. Total de efluente por lote) x (Número de lotes)

$$\text{Volumen de efluente por día} = 4176 \text{ l} \times 8$$

**Volumen de efluente por día  $\approx$  33 400 l/d**

Una vez determinada la cantidad de efluente generado en un día, se calculó la cantidad de hidróxido de sodio necesario para regular el pH del efluente.

$$\text{pH}_1=4$$

$$\text{pH}_2=7$$

$$\text{H}^+ = 10^{-3} = 0,001 \text{ mol/l} \quad \longrightarrow \quad \text{OH}^{-1} = 0,001 \text{ mol/l}$$

$$\frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol OH}^{-}} \times \frac{0,001 \text{ mol OH}^{-}}{\text{l}} = 0,001 \text{ mol NaOH/l}$$

$$\frac{1 \text{ mol NaOH}}{\text{l}} \times 33\,400 \text{ l} = 33,4 \text{ mol NaOH}$$

$$\text{Na} = 1 \times 23 = 23 ; \text{O} = 1 \times 16 = 16 ; \text{H} = 1 \times 1$$

$$m = 33,4 \text{ mol NaOH} \times \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol NaOH}}$$

$$m = 1336 \text{ g NaOH}$$

Como se aprecia en el cálculo, para regular el pH a un valor de 7 se necesitarán 1,336 kg de NaOH para un caudal de 33.4 m<sup>3</sup>/d, que será el máximo caudal generado por la planta en un periodo de un día de trabajo.

El hidróxido de sodio se adicionará al efluente, como una solución al 50%. Para lo cual se calculó la masa total de la solución.

$$\% \text{ en peso de una solución} = \frac{\text{masa del soluto}}{\text{masa de la solución}} \times 100$$

$$50 = \frac{1336 \text{ g}}{\text{masa de la solución}} \times 100$$

$$\text{Masa de la solución} = 2672 \text{ g}$$

Cálculo de la densidad del efluente para encontrar la masa:

Volumen: 1l

Peso: 1000.97 g

Densidad,  $p = m/v = 1000,97 \text{ g/l}$

Densidad,  $p = 1000,97 \text{ kg/m}^3$

Flujo másico (FM) por día =  $1000,97 \text{ kg/m}^3 * 33,4 \text{ m}^3/\text{d}$

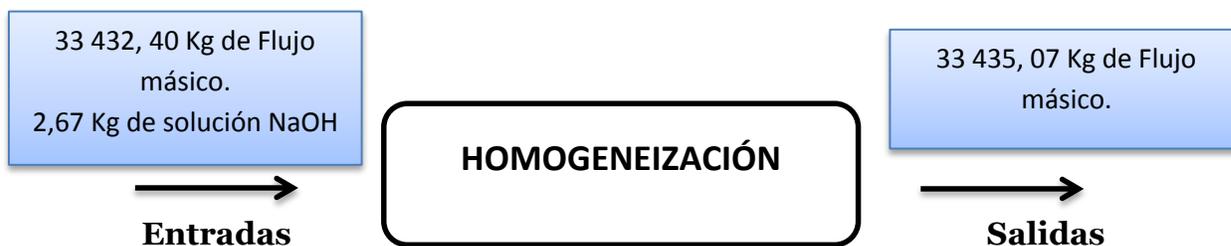
**Flujo másico por día = 33 432,40 kg/d**

Flujo másico final = Masa del Efluente + Masa de la solución de NaOH

Flujo másico final = Masa del Efluente + Masa de la solución de NaOH

Flujo másico final =  $33 432,40 \text{ kg/d} + 2,672 \text{ kg/d}$

**Flujo másico final = 33 435,072 kg/d**



Parámetro	Valor
DBO <sub>5</sub> , mg/l	>200
DQO, mg/l	>300
pH	<4
Conductividad, S/m	<1200
Temperatura, °C	70
SST, mg/l	100
Masa, kg	33 432,40
Color	35 %

Tiempo del Proceso
2 horas
Pérdidas del Proceso
Despreciables

Parámetro	Valor
DBO <sub>5</sub> , mg/l	>200
DQO, mg/l	>300
pH	7
Conductividad, S/m	<1200
Temperatura, °C	30 - 35
SST, mg/l	100
Masa, kg	33 435,07
Color	35 %

**Figura N° 09. Balance**

**de masa del proceso de homogeneización, en la PTAR de la hilandería La Inmaculada S.A.C.**

Como se aprecia en la Figura N° 09 de salidas del proceso de homogeneización, en esta primera etapa del tratamiento de las aguas residuales, sólo hubo variación en los parámetros pH y masa del efluente.

### **3.3.5.2 Coagulación – Floculación**

Para realizar el proceso de coagulación, se agregará el coagulante sulfato de aluminio, con una dosificación de 150 mg/ l de efluente, y para el proceso de floculación se utilizará el floculante Flocudex AS/10, que es un polímero aniónico, con una dosificación de 5 mg/l de efluente. (Salas, 2003)

$$\text{Cantidad de Coagulante} = (150 \text{ mg/l}) * (33\ 400 \text{ l/día}) * (1 \text{ kg/ } 1\ 000\ 000 \text{ mg})$$

$$\text{Cantidad de Coagulante} = \mathbf{5,01 \text{ kg/día}}$$

$$\text{Cantidad de Floculante} = (5 \text{ mg/l}) * (33\ 400 \text{ l/día}) * (1 \text{ kg/ } 1\ 000\ 000 \text{ mg})$$

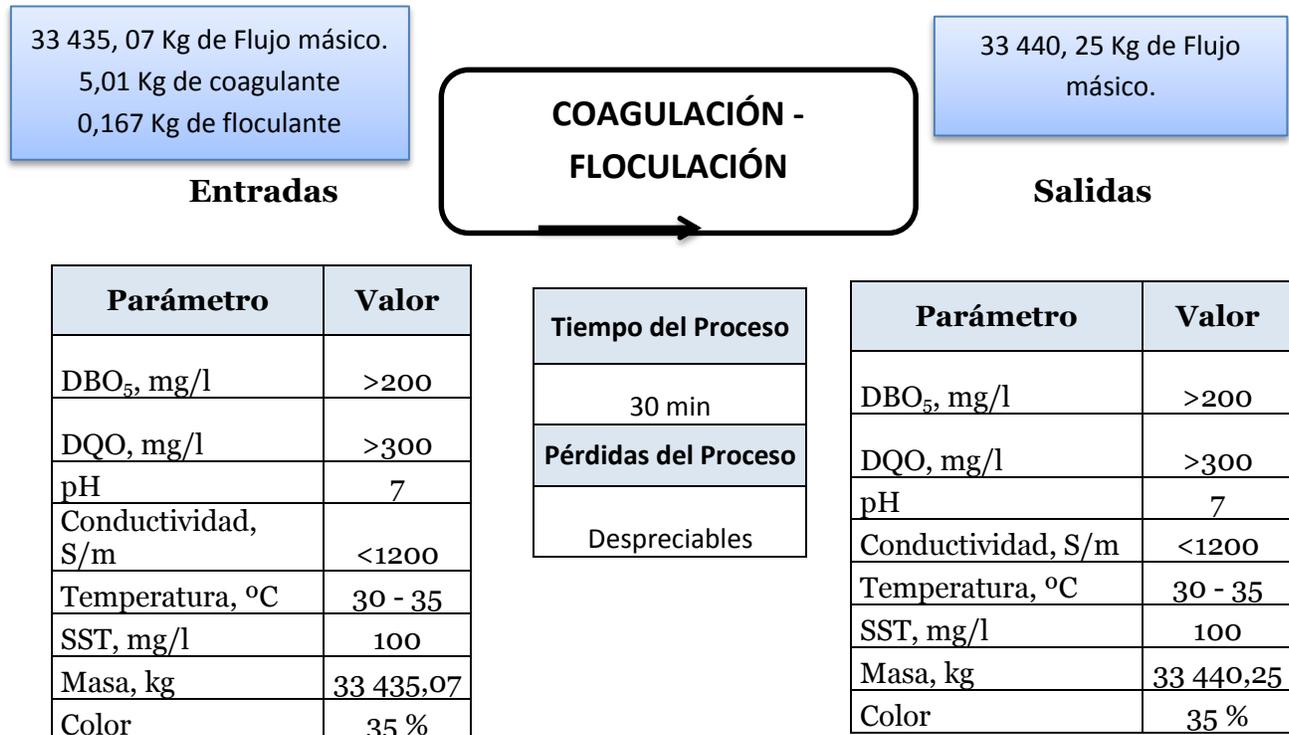
$$\text{Cantidad de Floculante} = \mathbf{0,167 \text{ kg/día}}$$

El coagulante y floculante se adicionarán directamente al efluente. A continuación (Figura N° 10) se muestran los cuadros del balance de masa para este proceso.

Flujo másico Final = Masa del Efluente + Masa de coagulante + Masa de floculante

$$\text{Flujo másico Final} = 33\,435,072 \text{ kg} + 5,01 \text{ kg} + 0,167 \text{ kg}$$

$$\text{Flujo másico Final} = 33\,440,249 \text{ kg/día}$$



**Figura N° 10. Balance de masa del proceso de coagulación-floculación, en la PTAR de la hilandería La Inmaculada S.A.C.**

Como se aprecia en el cuadro del balance, en este proceso solo se dará un aumento del flujo másico.

### 3.3.5.3 Flotación por aire disuelto

Se calculó la cantidad de lodos que se generarán, utilizando la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales presentes en el efluente.

$$S_m = Q \times SST \times E \text{ (kg/d)}$$

$S_m$  = Cantidad de Lodos, kg/día

Q = Flujo, m<sup>3</sup>/d

SST = de Sólidos Suspendidos Totales kg/m<sup>3</sup>

E =Eficiencia de remoción (60 -70 %), se asumió 60% para un entorno crítico.

$$Sm = 33,4 \frac{m^3}{d} * 0,1 \frac{kg}{d} * 0,6$$

$$Sm = 2,04 \frac{kg}{d}$$

Para el cálculo de la cantidad de lodos generados se utilizaron los resultados obtenidos del proceso de coagulación – floculación del estudio Tratamiento físico-químico de las aguas residuales de la industria textil (Salas, 2003). En dicho estudio se obtienen los siguientes resultados:

Volumen de material decantado: 15 ml/m<sup>3</sup> de efluente.

Volumen de material Flotado: 45 ml/m<sup>3</sup> de efluente.

Vol. total de lodos =Vol. De material decantado + Vol. De material flotado

$$\text{Vol. total de lodos} = [(15 \text{ ml/m}^3) * 33,4 \text{ m}^3] + [(45 \text{ ml/m}^3) * 33,4 \text{ m}^3]$$

$$\text{Vol. total de lodos} = 501 \text{ ml} + 1 503 \text{ ml}$$

$$\text{Vol. total de lodos} = 2 004 \text{ ml} \approx 2,004 \text{ l}$$

Densidad de lodos de industria textil = 1.05 g/cm<sup>3</sup> (Narváez et al, 2014)

Masa de lodos = Volumen lodos \* Densidad de lodos

$$\text{Masa de lodos} = 2,004 \text{ l} * 1.05 \text{ kg/l}$$

$$\text{Masa de lodos} = 2,10 \text{ Kg}$$

Flujo másico Final = Masa del Efluente - Masa total de lodos - Masa insumos – Pérdidas en el proceso (2%)

$$\text{Flujo másico Final} = 33 440,25 \text{ kg} - 2,10 \text{ kg} - 5,2 \text{ kg} - (33 440,25 * 2\%)$$

$$\text{Flujo másico Final} = 32 764,15 \text{ kg}$$

Mediante este proceso se obtendrá además una reducción superior al 70% en la DBO<sub>5</sub>. (Salas, 2003)

Se asumió una reducción del 30%, para un entorno crítico, entonces:

$$\text{DBO}_5 (\text{final}) = \text{DBO}_5 (\text{inicial}) - (\text{DBO}_5 (\text{inicial}) * 70\%)$$

$$\text{DBO}_5 (\text{final}) = (200 - 140) = 70 \text{ mg/l}$$

Con las condiciones de tratamiento utilizando: polímero floculante a 5 mg/l y coagulante de sulfato de aluminio 150 mg/l, se obtienen rendimientos superiores al 70% en SST y DQO. (Salas, 2003)

$$\text{SST} (\text{final}) = \text{SST} (\text{inicial}) - \text{SST} (\text{inicial}) * 70\%$$

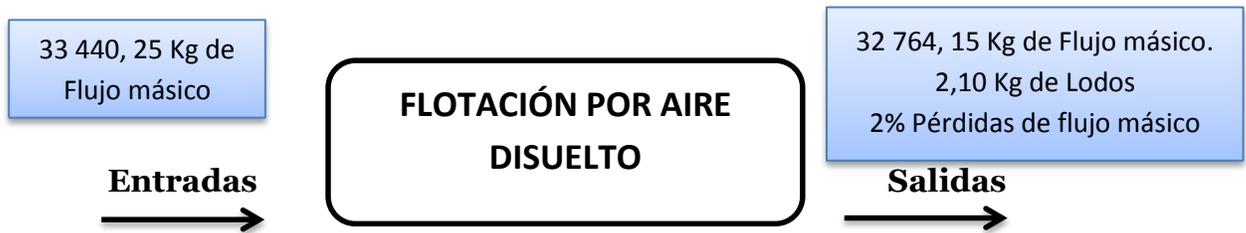
$$\text{SST} (\text{final}) = 100 \text{ mg/l} - (100 \text{ mg/l} * 70\%)$$

$$\text{SST} (\text{final}) = 30 \text{ mg/l}$$

$$\text{DQO} (\text{final}) = \text{DQO} (\text{inicial}) - (\text{DQO} (\text{inicial}) * 70\%)$$

$$\text{DQO} (\text{final}) = 300 - (300 * 70\%)$$

$$\text{DQO} (\text{final}) = 90 \text{ mg/l}$$



Parámetro	Valor
DBO <sub>5</sub> mg/l	>200
DQO mg/l	>300
pH	7
Conductividad, S/m	<1200
Temperatura, °C	30 - 35
SST, mg/l	100
Masa, kg	33 440,25
Color	35 %

Tiempo del Proceso
30 min.
Residuos del Proceso
Lodos
2,10 kg/d

Parámetro	Valor
DBO <sub>5</sub> , mg/l	>70
DQO, mg/l	>90
pH	7
Conductividad, S/m	<1200
Temperatura, °C	30 - 35
SST, mg/l	30
Masa, kg	32 764,15
Color	35 %

**Figura N° 11. Balance de masa del proceso de Flotación por aire disuelto, en la PTAR de la hilandería La Inmaculada S.A.C.**

En la figura N° 11 se muestra el balance de masa del proceso de flotación por aire disuelto, en cual se muestra además que hay un residuo en dicho proceso, que son los lodos, estos serán gestionados por una tercera empresa que gestione desechos sólidos.

#### **3.3.5.4 Filtración**

Eficiencia del proceso para la remoción de:

- SST = 85 - 95%
- DBO<sub>5</sub> = 85 - 95%
- DQO = 75 - 85%
- Color = 45 - 55%

Asumiendo un escenario crítico, se tomaron los valores de eficiencia más bajos.

$$\text{SST (final)} = \text{SST (inicial)} - [\text{SST (inicial)} * 85\%]$$

$$\text{SST (final)} = 30 \text{ mg/l} - (30 \text{ mg/l} * 85\%)$$

$$\text{SST (final)} = 4,5 \text{ mg/l}$$

$$\text{DQO (final)} = \text{DQO (inicial)} - (\text{DQO (inicial)} * 75\%)$$

$$\text{DQO (final)} = 90 - (90 * 75\%)$$

$$\text{DQO (final)} = 22,5 \text{ mg/l}$$

$$\text{DBO}_5 \text{ (final)} = \text{DBO}_5 \text{ (inicial)} - (\text{DBO}_5 \text{ (inicial)} * 85\%)$$

$$\text{DBO}_5 \text{ (final)} = (70 - 59,5) = 10,5 \text{ mg/l}$$

$$\text{Color (final)} = \text{Color (inicial)} - \text{Color (inicial)} * 45\%$$

$$\text{Color (final)} = 35 \% - (35 * 45\%) \% = 19,25 \%$$

En la figura N° 12 se muestra el balance de masa para el proceso de filtración, las pérdidas del proceso son despreciables, y la cantidad de desecho (lodo generado) es mínima.



Parámetro	Valor
DBO <sub>5</sub> , mg/l	>70
DQO, mg/l	>90
pH	7
Conductividad, S/m	<1200
Temperatura, °C	30 -3 5
SST, mg/l	30
Masa, kg	32 764,15
Color	35 %

Tiempo de Proceso
30 min.
Pérdidas de Proceso
Despreciables

masa del proceso de Filtración, en la PTAR de la hilandería La

Figura N° 12. Balance de

Parámetro	Valor
DBO <sub>5</sub> , mg/l	>10,5
DQO, mg/l	>22,5
pH	7
Conductividad, S/m	<1200
Temperatura, °C	30 - 35
SST, mg/l	4,5
Masa, kg	32 764,15
Color	19,25 %

Inmaculada S.A.C.

### 3.3.5.5 Ozonización

Para este proceso, el contenido de DQO del efluente no debe exceder a 30 mg/l, y el contenido de los sólidos suspendidos debe ser menor a 30 mg/l. Por ello se verifican las características del efluente al salir del proceso de filtración, y vemos que si se cumplen con estos parámetros, por lo tanto, se puede realizar el proceso de ozonización del efluente.

Eficiencia del Proceso:

Color = 96 – 100 %

DBO<sub>5</sub> = > 90%

DQO = 40 – 50%

Asumiendo un escenario crítico, se tomaron los valores de eficiencia más bajos.

$$\text{Color (final)} = \text{Color (inicial)} - \text{Color (inicial)} * 96\%$$

$$\text{Color (final)} = 19,25 \% - (19,25 * 96\%) \%$$

$$\text{Color (final)} = 0,77\%$$

$$\text{DBO}_5 \text{ (final)} = \text{DBO}_5 \text{ (inicial)} - (\text{DBO}_5 \text{ (inicial)} * 50\%)$$

$$\text{DBO}_5 \text{ (final)} = (10,5 - 5,25) = 5,25 \text{ mg/l}$$

$$\text{DQO (final)} = \text{DQO (inicial)} - (\text{DQO (inicial)} * 40\%)$$

$$\text{DQO (final)} = 22,5 - (22,5 * 40\%)$$

$$\text{DQO (final)} = 13,5 \text{ mg/l}$$

En la figura N° 13 se muestra el balance de masa para el proceso de ozonización.



**Figura N° 13. Balance de masa del proceso de ozonización, en la PTAR de la hilandería La Inmaculada S.A.C.**

### 3.3.6. Resultado del balance de masa de los procesos.

Después de haber pasado por todos los procesos de tratamiento, el efluente quedará apto para su reutilización, que se realizará en el proceso de teñido de la hilandería La Inmaculada S.A.C.

En la Tabla N° 17, se muestran los parámetros del efluente iniciales (antes del tratamiento) y finales (después del tratamiento); y se comparan con los límites máximos permisibles (LMP) para la reutilización de dicho efluente en el proceso de teñido. Como se aprecia, los valores de los parámetros finales están dentro de los LMP para la reutilización (Red Textil Argentina, 2012), en el proceso de teñido de la hilandería La Inmaculada S.A.C.

**Tabla N° 17. Valores de los parámetros del efluente antes y después del tratamiento en la PTAR propuesta, LMP para reutilización y porcentajes de remoción.**

Parámetros	Parámetros Iniciales	Parámetros Finales	LMP para Reutilización	% de Remoción
DBO5, mg/l	< 200	< 5,25	< 10	97,38
DQO, mg/l	< 300	< 13,5	< 20	95,50
pH	4	7	6,5 - 8,5	---
Conductividad S/m	< 1 200	< 1 200	< 1 500	---
Temperatura, °C	> 70	30 - 35	30 - 35	---
SST, mg/l	< 100	< 4,5	< 25	95,50
Color	< 35%	< 0,77	< 2%	97,80

De los 33 432,4 kg/d de efluente que ingresarán a la PTAR propuesta, se reutilizarán 32 764,15 kg/d, que expresado en unidades de volumen son 32,77 m<sup>3</sup>/d.

La PTAR tiene una eficiencia superior al 96 %. Los 32.77 m<sup>3</sup>/d de agua tratada serán reutilizados en el proceso de teñido de las madejas.

### **3.3.6 Propuesta de los equipos para el sistema de tratamiento de aguas residuales**

#### **3.3.6.1 Proceso de Homogenización**

### **Cálculo del volumen máximo acumulado para el proceso de homogenización:**

Tomando en cuenta que se tendrá un periodo máximo de 8 horas para el proceso de homogenizado, el volumen es:

$$V_t = 0,2 * V_{va} * (h_{flujo}/h_{bombeo})$$

Donde:

$V_t$  = Volumen requerido máximo acumulado.

$V_{va}$  = Volumen vertido acumulado.

$h_{flujo}$  = Horas de flujo del caudal.

$H_{bombeo}$  = Horas de bombeo.

$$V_t = 0,2 * 33,408 m^3 * (8h/8h)$$

$$V_t = 6,69 m^3 \approx 7 m^3$$

### **Cálculo del volumen del tanque homogeneizador:**

De acuerdo con otras investigaciones realizadas es recomendable trabajar el volumen del tanque homogeneizador con un margen del 20% superior al volumen requerido, es por ello que se optó por trabajar con las siguientes medidas:

$r=1,2$  m;  $h = 2$  m

$$V_c = \pi * r^2 * h$$

Donde:

$V_c$  = Volumen del tanque

$r$  = Radio del tanque

$h$  = Altura del tanque

$$V_c = \pi * 1,2^2 * 2$$

$$V_c = 9,05 m^3$$

### **Cálculo del espesor del tanque:**

Se utilizó la siguiente relación para el cálculo del espesor del tanque:

$$e = \frac{D}{10} = \frac{2,4 \text{ m}}{10} = 0,24 \text{ m}$$

Donde:

e = Espesor del tanque, m.

D = Diámetro

### **Cálculo del diámetro de la turbina:**

El tanque homogeneizador llevará en su interior un agitador de flujo axial, con 6 paletas planas separadas con un ángulo de 45°.

$$d_t = \frac{D_t}{3}$$

Donde:

$d_t$  = Diámetro de la turbina

$D_t$  = Diámetro del tanque homogeneizador.

$$d_t = \frac{2,4 \text{ m}}{3} = 0,8 \text{ m} \quad ; \quad s = \frac{d}{2} = \frac{0,8 \text{ m}}{2} = 0,4 \text{ m} \quad ; \quad w = \frac{d}{4} = \frac{0,8 \text{ m}}{4} = 0,2 \text{ m}$$

### **Cálculo de la potencia del mezclador:**

Se recomendó una potencia de 20 W/m<sup>3</sup> de capacidad del tanque homogeneizador.

$$P = \frac{20 \text{ W}}{\text{m}^3} * 9,05 \text{ m}^3$$

$$P = 181 \text{ W}$$

Para el diseño se tomará la medida comercial de potencia de 0.8 kW, y 1 HP.  
En el Anexo N° 19 se muestra el diseño del tanque homogeneizador.

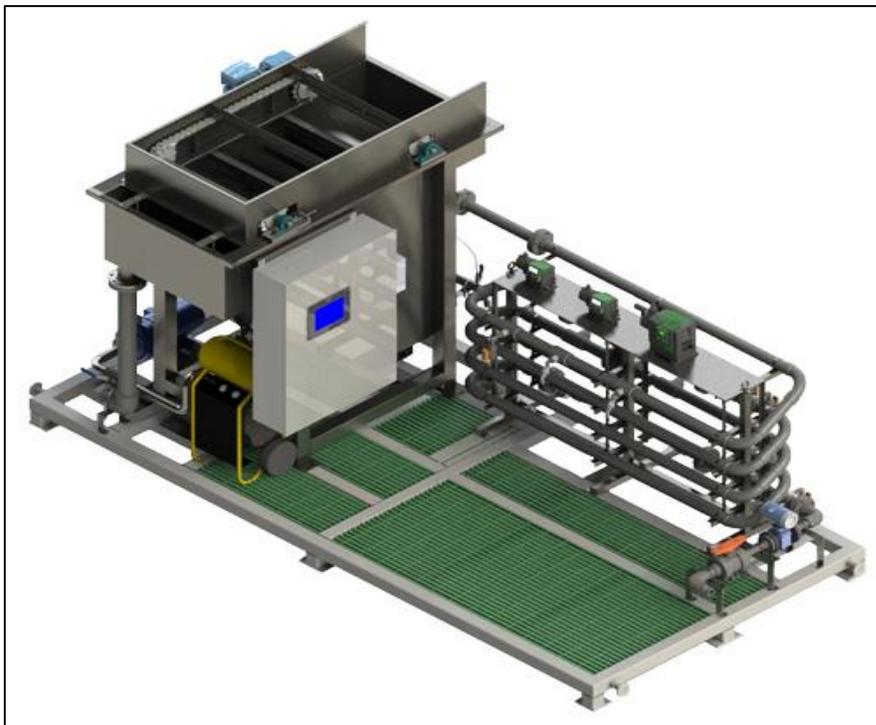
### **3.3.6.2 Proceso de Coagulación/Floculación y Sistema de flotación de aire disuelto.**

Para este proyecto se trabajará con un sistema de flotación de aire disuelto (DAF por sus siglas en inglés), que incorpora en su proceso, la coagulación/floculación (Véase la Figura N° 14).

El caudal máximo generado en la planta es de 33,4 m<sup>3</sup>/d, si se trabajan 2 turnos de 8 horas por día (16 h/d), por lo tanto el caudal máximo será 2,01 m<sup>3</sup>/h.

En la Figura N° 11, se muestra el equipo que se sugiere para la implementación del sistema de tratamiento de aguas.

Las especificaciones técnicas están en el Anexo N° 20 y 21.



**Figura N° 14. Sistema de flotación de aire disuelto.**

*Fuente: FRC Systems International, LLC.*

El equipo cuenta con un caudal de trabajo de 5,5 m<sup>3</sup>/h, como máximo. El área efectiva del equipo es de 3,15 m<sup>2</sup>, y se requiere un área libre de 0,7 m<sup>2</sup>, de acuerdo con las recomendaciones de la ficha técnica del equipo.

**Cálculo para el recipiente de almacenamiento de lodos:**

En el balance de masa se calculó que se generarían como máximo 4 008 l de lodos por día, con este dato se calcularán las dimensiones del recipiente de almacenamiento de dichos lodos.

Los lodos se deberán retirar como mínimo una vez al día (después de 16 horas de producción), se debe considerar además un margen del 20 % de volumen del recipiente, superior al requerido. Por lo tanto el volumen que deberá tener el recipiente para los lodos es el siguiente:

$$\text{Volumen del recipiente para lodos} = \text{Volumen de sólidos máximo} * 1,2$$

$$\text{Volumen del recipiente para lodos} = 4,01 \text{ m}^3 * 1,2$$

$$\text{Volumen del recipiente para lodos} = \mathbf{4,8 \text{ m}^3}$$

El volumen del tanque que se diseñó es de 4,83 m<sup>3</sup>. Las dimensiones son las siguientes:

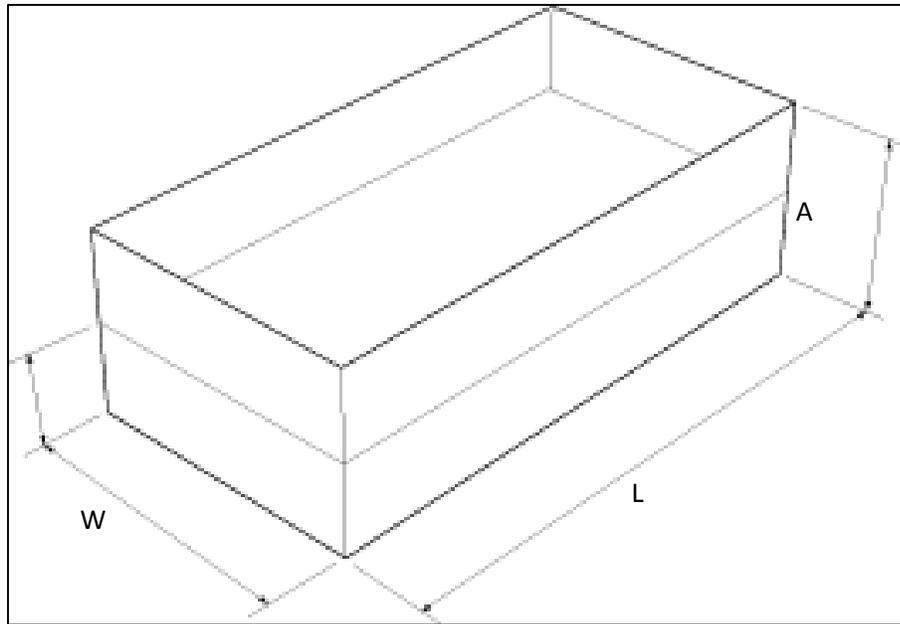
$$\text{Área} = 3,45 \text{ m}^2$$

$$\text{Altura (A)} = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Ancho (W)} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Largo (L)} = 2,3 \text{ m}$$

En la Figura N° 15. Se muestra el diseño del tanque para la recolección de los lodos generados en el sistema de flotación de aire disuelto (DAF).



**Figura N° 15. Diseño del recipiente de almacenamiento de lodos.**

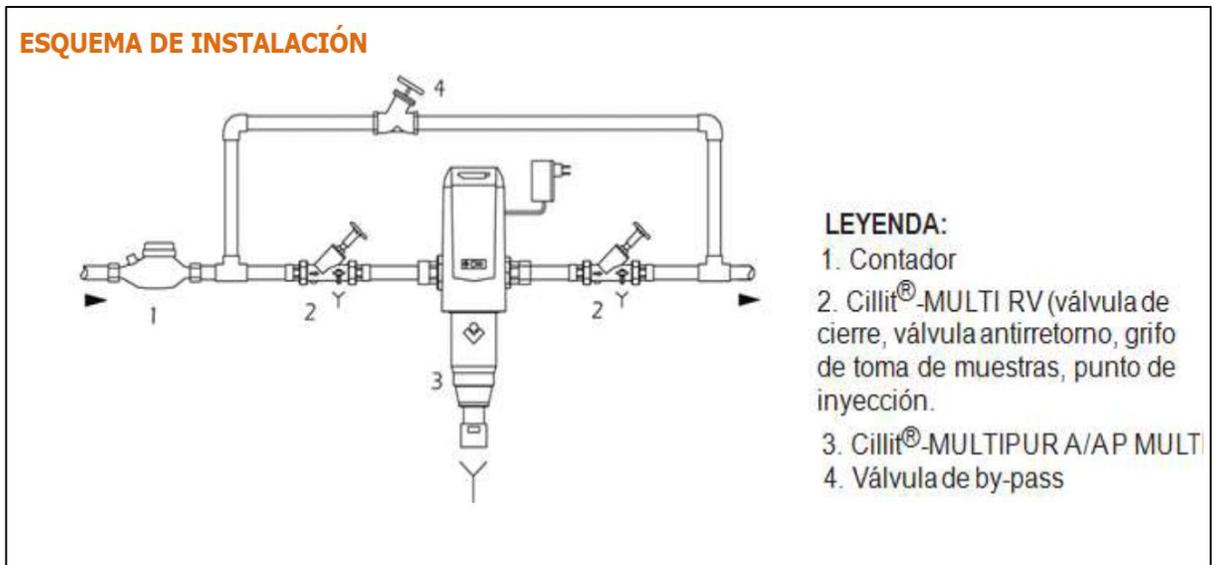
Los lodos serán gestionados por una empresa que se ocupe del tratamiento de desechos sólidos.

En el Anexo N° 22 se muestra el plano del diseño del recipiente para lodos.

### **3.3.6.3 Proceso de Filtración:**

Para este caso se utilizará un filtro tipo autolimpiable, de la marca Cillit, modelo Multipur A/AP Combi, cuya ficha técnica se encuentra en el Anexo N° 23.

Como se aprecia en el esquema de instalación (Véase Figura N° 16), el sistema está integrado con dos válvulas de cierre que son necesarias para controlar la presión del efluente al ingreso y a la salida, con la finalidad de prevenir daños al equipo, finalmente la tubería de conexión es de 2 pulgadas.



**Figura N° 16. Esquema de instalación del filtro.**

*Fuente: Cillit S.A.*

Las dimensiones del equipo son las siguientes:

Altura del Filtro: 190 mm

Anchura del Filtro: 260 mm

El caudal máximo de filtrado es de 11 m<sup>3</sup>/h, y el grado de filtración es hasta 90 um. Este equipo es el más adecuado porque su capacidad de filtrado garantizará que se reduzca eficientemente la carga de contaminación del efluente.

### **3.3.6.4 Proceso de Ozonización**

#### **a) Tanque pre –ozonización:**

Se utilizará un tanque de pre-ozonización para el almacenamiento temporal del agua que salga del proceso de filtración y posteriormente pasará a la ozonización. Para este caso se utilizará un tanque de 5 m<sup>3</sup> de la marca Rotoplas. En la Figura N° 17 (lado derecho) se muestra el tanque y sus dimensiones.



**Figura N° 17. Dimensiones de los tanques Rotoplas.**

*Fuente: Rotoplas*

Como se aprecia en la Figura N° 17, las dimensiones del tanque son:

Altura: 2.18 m y Diámetro: 1.83 m

**b) Generador de Ozono:**

El equipo seleccionado para este proceso es el Generador de Ozono BEWAZON VU-L-W 210, de la empresa Cillit S.A. La ficha técnica del generador se encuentra en el Anexo N° 24.

**c) Tanque de contacto:**

El equipo seleccionado para este proceso es el Tanque de contacto modelo CILLIT-TC-4500-200, de la empresa Cillit S.A. La ficha técnica del Tanque de contacto se encuentra en los Anexos N° 25 y 26.

**d) Inyector de Ozono:**

El equipo que se utilizará para la inyección del ozono es sistema de mezcla agua/ozono Cillit MHO 25, que está diseñado para la aspiración mediante venturi del gas-ozono y la mezcla del mismo con el agua de proceso. Este equipo es muy necesario el sistema pues proporciona un efecto de mezcla de alto rendimiento con un costo mínimo energético.

La ficha técnica del inyector de encuentra en el Anexo N° 27.

Para la instalación del equipo se requerirá de una longitud de 1.2 m, y 1 m de profundidad.

El equipo cuenta con 1 válvula elevadora de presión, 1 inyector-venturi, 2 manómetros, 1 mezclador estático, 1 válvula antirretorno para el ozono, 1 válvula de corte y regulación, 1 trampa hidráulica, y 2 válvulas de corte para el agua de mezcla.

#### **e) Destructor de Ozono:**

El sistema de eliminación de ozono residual actúa transformando en oxígeno el ozono presente en el aire de los conductores de aireación del tanque de contacto. El equipo seleccionado para este proceso es el sistema de eliminación de ozono residual Cillit CK 2.

En los Anexos N° 28 y 29 se encuentra la ficha técnica del sistema.

#### **f) Tanque post-ozonización**

Se creyó conveniente utilizar un tanque con la misma capacidad (5 m<sup>3</sup>) que el tanque de pre-ozonización, pues el almacenamiento en este tanque será temporal, dado que el agua tratada recirculará al proceso, ya sea directamente o indirectamente almacenándose primero en uno de los tanques con los que cuenta la hilandería.

#### **g) Bombas**

Serán necesarias 5 bombas centrífugas, cuatro de  $\frac{3}{4}$  HP para el transporte del agua por los procesos de tratamiento y una bomba de 1 HP para los lodos que se generarán en el proceso de coagulación-floculación y flotación por aire disuelto, que serán transportados al tanque de almacenamiento de lodos. Se utilizarán bombas de la marca TRUPER, por ser una de las marcas más reconocidas por su calidad dentro del mercado.

En el Anexo N° 32, se muestra el plano del sistema y se indican las ubicaciones de cada una de las bombas.



**Figura N° 18. Bomba centrífuga de ¾ HP.**

Fuente: TRUPER

En el Anexo N° 30, se muestran las características técnicas de las bombas centrífugas de ¾ HP, y en el Anexo N° 31 se muestra la ficha técnica de la bomba para lodos.

#### **h) Tubería**

En los Anexos N° 32 y N° 33 se muestra el plano del sistema de tratamiento de aguas residuales en la hilandería La Inmaculada S.A.C. en el cual se indica las tuberías que serán necesarias para dicho sistema. Se utilizará tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro, la cantidad total a utilizar será: 48 m.

En los Anexos N° 34, 35 y 36 se muestran imágenes del diseño en 3D de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta para la hilandería La Inmaculada S.A.C.

### **3.4 ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA HILANDERÍA LA INMACULADA S.A.C. PARA SU REUTILIZACIÓN.**

Para la evaluación de la viabilidad económica del proyecto, se tomó como criterio la comparación de los costos de operatividad de la empresa sin la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y con la implementación de dicha planta.

#### **3.4.1 Costos del agua para el proceso de teñido sin la implementación de la PTAR.**

Los costos de las multas por contaminación se determinaron realizando consultas al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). De acuerdo a las cantidades generadas y al impacto ambiental que generan los efluentes de la hilandería La Inmaculada S.A.C., se considera un impacto “Leve” y la sanción es de 2 UIT (Unidad Impositiva Tributaria), valorada en S/. 3 850,00 nuevos soles.

El proceso de fiscalización inicia con la notificación, donde se le informa a la empresa sobre los impactos que está generando, las medidas que debe tomar para poder seguir en actividad de manera legal, y las multas en las que incurriría sino acatase dichas disposiciones. En esta primera etapa se le dará a la empresa un plazo de 90 días calendarios para tomar las acciones que se le hayan indicado.

Transcurridos los 90 días, se volverá a fiscalizar y si la empresa no ha cumplido con lo dispuesto, se procederá a multar con 2 UIT, y 30 días de inactividad; luego se contabilizarán 90 días más para ejecutar las acciones dispuestas. De no encontrar mejoras, el organismo fiscalizador procederá a duplicar la multa a 4 UIT y se sancionará con 60 días de inactividad, y nuevamente se le darán 90 días a la empresa para realizar las mejoras. La tercera sanción consta de una multa de 4 UIT pero con 90 días de inactividad, y con un plazo de 90 días para realizar las mejoras.

Finalmente si se sigue haciendo caso omiso a las indicaciones del organismo fiscalizador, se procede a la suspensión definitiva de la actividad de la empresa.

En la Tabla N° 18 se muestran los costos en los que se incurriría al no cumplir con la normatividad ambiental.

En el Anexo N° 37 se presenta la proyección de ingresos por ventas de la hilandería La Inmaculada S.A.C. para los años del 2015 al 2018. Con esta proyección se determinaron las pérdidas por cierre de actividad.

**Tabla N° 18. Costos de producción de la hilandería La Inmaculada S.A.C. sin la implementación de la PTAR.**

<b>MONEDA: DÓLAR</b>	<b>AÑO 2015</b>						<b>AÑO 2016</b>			
<b>OTROS COSTOS</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Trimestre 2</b>	<b>Trimestre 3</b>	<b>Trimestre 4</b>	<b>Trimestre 1</b>	<b>Trimestre 2</b>	<b>Trimestre 3</b>	<b>Trimestre 4</b>
<b>Multas por contaminación (\$)</b>				2 566,67	5 133,33		5 133,33			
<b>Pérdidas por cierre de actividad (\$)</b>				8 149,48	16 405,34		24 926,11		25 245,21	25 403,76
<b>Costo de Consumo de Agua (\$)</b>	1 643,45	1 643,45	1 643,45	3 308,35	1 664,97	5 027,29	0,00	5 091,86	0,00	0,00
<b>COSTO TOTAL (\$)</b>	<b>1 643,45</b>	<b>1 643,45</b>	<b>1 643,45</b>	<b>14 024,50</b>	<b>23 203,64</b>	<b>5 027,29</b>	<b>30 059,44</b>	<b>5 091,86</b>	<b>25 245,21</b>	<b>25 403,76</b>

\*Los valores que se encuentran en esta tabla se han transformado de soles a dólares utilizando la tasa de cambio de S/. 3.15 soles el valor del dólar.

<b>MONEDA: DÓLAR</b>	<b>AÑO 2017</b>				<b>AÑO 2018</b>			
<b>OTROS COSTOS</b>	<b>Trimestre 1</b>	<b>Trimestre 2</b>	<b>Trimestre 3</b>	<b>Trimestre 4</b>	<b>Trimestre 1</b>	<b>Trimestre 2</b>	<b>Trimestre 3</b>	<b>Trimestre 4</b>
<b>Multas por contaminación (\$)</b>								
<b>Pérdidas por cierre de actividad (\$)</b>	25 563,31	25 721,86	25 881,41	26 040,96	26 199,51	26 359,06	26 518,61	26 677,16
<b>Costo de Consumo de Agua (\$)</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>COSTO TOTAL (\$)</b>	<b>25 563,31</b>	<b>25 721,86</b>	<b>25 881,41</b>	<b>26 040,96</b>	<b>26 199,51</b>	<b>26 359,06</b>	<b>26 518,61</b>	<b>26 677,16</b>

Como se indicó la empresa incurrirá en multas por contaminación, en este caso en el mes de abril (Trimestre 2, año 2015) con 2 UIT y 30 días de inactividad por ello se han calculado las pérdidas por inactividad, costeadando las utilidades netas de la empresa; en el mes de Agosto la multa será de 4 UIT y 60 días de inactividad. En el mes de enero del Año 2016, la multa será de 4 UIT y 90 días de inactividad. En el mes de abril del año 2016 se inactivará definitivamente la empresa.

Para las pérdidas por consumo de agua se tomó en cuenta el valor de m<sup>3</sup> de agua para uso comercial que brinda la Entidad Prestadora de Servicio de Saneamiento de Lambayeque (EPSEL S.A.).

$$\text{Costo del m}^3 \text{ de Agua para uso comercial} = \text{S/} . 6,416 = 2,037 \$$$

Estos costos se obtuvieron tomando en cuenta el pronóstico del efluente que se generará entre los años 2015 y 2018, que se muestran en la Tabla N°16.

### 3.4.2 Costos del agua para el proceso de teñido con la implementación de la PTAR.

Para la obtención de los costos en los que se incurrirá para el tratamiento del agua residual se tomaron en cuenta los siguientes costos:

#### 3.4.2.1 Costos de Equipos e instalación

Se tomaron en cuenta todos los equipos que se necesitarán para la instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales, el costo del estudio de ingeniería y de instalación. Además, se tomó como contingencia para los gastos, el 15% del total calculado.

**Tabla N° 19. Costos de construcción de Tanque Homogeneizador.**

Descripción	Costo
Materiales para Obra civil	\$ 3 400,00
Equipos y Accesorios	
Motor de Turbina	\$ 650,00
Impulsor y Eje de Turbina	\$ 1 200,00
Instalación, M.O.	\$ 350,00
Mano de Obra civil	\$ 2 300,00
<b>Costo Total</b>	<b>\$ 7 900,00</b>

**Tabla N° 20. Costos de construcción de Tanque de Lodos.**

Descripción	Costo
Materiales para Obra civil	\$ 1 800,00
Mano de Obra	\$ 1 400,00
<b>Costo Total</b>	<b>\$ 3 200,00</b>

El cálculo de la inversión necesaria para el sistema DAF de tratamiento de aguas residuales, se realizó tomando como referencia la fórmula que propone la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, Chile), en su estudio titulado Tecnologías de Flotación por Aire Disuelto - DAF (2010).

**Inversión (US\$) con caudal de tratamiento Q (m<sup>3</sup>/h), para tratamiento de uso industrial:**

$$\text{Inv (US\$)} = 3\ 772,2 * Q^{0,8967}$$

$$\text{Inv (US\$)} = 3\ 772,2 * 5,5^{0,8967}$$

$$\text{Inv (US\$)} = 17\ 397,14$$

El cálculo de la inversión necesaria para el sistema de Ozonización de tratamiento de aguas residuales, se realizó tomando como referencia la fórmula que propone la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, Chile), en su estudio titulado Procesos de Oxidación Avanzada (2010).

**Inversión (US\$) con caudal de tratamiento Q (m<sup>3</sup>/h), para tratamiento de uso industrial:**

$$\text{Inv (US\$)} = 22\ 714 * Q^{0,6}$$

$$\text{Inv (US\$)} = 22\ 714 * 5,5^{0,6}$$

$$\text{Inv (US\$)} = 63\ 170,05$$

El costo del equipo de filtración se obtuvo directamente de la empresa Cilit S.A. Costo \$ 2 200,00

En la tabla N° 21 se muestran los costos de los equipos y de instalación de los mismos.

**Tabla N° 21. Costos de Equipos e Instalación**

<b>Costos de Equipos e Instalación</b>				
<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Tanque Homogeneizador	1	Uni.	\$ 7 900,00	\$ 7 900,00
Sistema DAF	1	Uni.	\$ 17 397,14	\$ 17 397,14
Filtro	1	Uni.	\$ 2 200,00	\$ 2 200,00
Tanque Pre-Ozonización	1	Uni.	\$ 1 100,00	\$ 1 100,00
Sistema de Ozonización	1	Uni.	\$ 63 170,05	\$ 63 170,05
Tanque para Agua Tratada	1	Uni.	\$ 1 100,00	\$ 1 100,00
Tanque para lodos	1	Uni.	\$ 3 200,00	\$ 3 200,00
Bombas para transporte de Efluente	4	Uni.	\$ 220,00	\$ 880,00
Bomba para transporte de lodos	1	Uni.	\$ 270,00	\$ 270,00
Tubos de PVC de 3m	16	Uni.	\$ 2,50	\$ 40,00
Ingeniería e Instalación de Equipos	-	-	-	\$ 12 000,00
Contingencias	-	-	15%	\$ 16 388,58
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 125 645,77</b>

### 3.4.2.2 Costos de tratamiento

Se realizó el cálculo del costo de tratamiento para cada uno de los procesos del sistema de tratamiento de aguas residuales. Los costos se calcularon para un metro cúbico de efluente (m<sup>3</sup>).

**Tabla N° 22. Costo de tratamiento de 1 m<sup>3</sup> de efluente para el proceso de Homogeneización.**

<b>HOMOGENEIZACIÓN</b>				
<b>Insumo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total/m<sup>3</sup></b>
Hidróxido de Sodio	kg	0,04	\$ 2,00	\$ 0,08
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 0,08</b>

Para el proceso de Homogeneización se utilizará 0,04 kg de hidróxido de sodio como regulador del pH, para un metro cúbico del efluente, los costos se muestran en la Tabla N° 22.

En la Tabla N° 23 se muestran los costos de tratamiento para el proceso de Coagulación-Floculación. Para dicho proceso se utilizará 0,15 kg de sulfato de aluminio como coagulante, y 0,005 kg de polímero floculante, para un metro cúbico de efluente.

**Tabla N° 23. Costo de tratamiento de 1 m<sup>3</sup> de efluente para el proceso de Coagulación-Floculación.**

COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN				
Insumo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Sulfato de Aluminio	kg	0,15	\$ 1,50	\$ 0,225
Polímero Floculante	kg	0,005	\$ 2,00	\$ 0,01
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 0,24</b>

**Tabla N° 24. Costo de tratamiento de 1 m<sup>3</sup> de efluente para el proceso de Filtración.**

FILTRACIÓN				
Insumo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Cartuchos de Carbón activado (Duración 2 años)	Unidad	1	\$ 32,86	\$ 32,86
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 32,86</b>

El cálculo del costo de tratamiento de aguas residuales con el sistema DAF, se realizó tomando como referencia la fórmula que propone la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, Chile), en su estudio titulado Tecnologías de Flotación por Aire Disuelto - DAF (2010).

**Costo de tratamiento (US\$) con caudal de tratamiento Q (m<sup>3</sup>/h):**

$$\text{Costo de tratamiento (US\$)} = 2,5424 * Q^{-0,745}$$

$$\text{Costo de tratamiento (US\$)} = 2,5424 * 5,5^{-0,745}$$

$$\text{Costo de tratamiento (US\$)} = 0,71$$

El costo de tratamiento incluye el costo de energía, para el equipo del sistema DAF.

El cálculo del costo de tratamiento de aguas residuales con el sistema de Ozonización de tratamiento de aguas residuales, se realizó tomando como referencia la fórmula que propone la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA, Chile), en su estudio titulado Procesos de Oxidación Avanzada (2010).

**Costo de tratamiento (US\$) con caudal de tratamiento Q (m<sup>3</sup>/d):**

$$\text{Costo de tratamiento (US\$)} = 1,7056 * Q^{-0,131}$$

$$\text{Costo de tratamiento (US\$)} = 1,7056 * 88^{-0,131}$$

$$\text{Costo de tratamiento (US\$)} = 0,95$$

El costo de tratamiento incluye el costo de energía, para el equipo del sistema de ozonización.

### 3.4.2.3 Costos de Energía

En la Tabla N° 25 se calcula la energía consumida por cada uno de los equipos del STAR para una jornada diaria. El costo de energía para uso comercial en la ciudad de Chiclayo es de \$0,07 dólares el kW/h.

**Tabla N° 25. Consumo de energía por día del sistema de tratamiento de aguas residuales.**

Consumo de energía por día					
Equipo	Potencia (kW)	Tiempo de Consumo (horas)	Energía	Costo Unitario de la energía kW/h	Costo Total
Homogeneizador	0,8	16	12,8	\$ 0,07	\$ 0,95
Bombas centrífugas de efluente (4 * 0,56 kW)	2,24	16	26,88	\$ 0,07	\$ 1,99
Bomba centrífuga de lodos	0,8	16	12,8	\$ 0,07	\$ 0,95

En la Tabla N° 26, se detallan los costos de energía de cada equipo para un metro cúbico de efluente tratado, tomando en cuenta el tiempo de utilización del equipo para esa cantidad de agua tratada en el sistema.

**Tabla N° 26. Costo de consumo de energía de cada equipo para 1 m<sup>3</sup> de efluente tratado en la PTAR.**

Equipo	Tiempo de procesamiento o hora/m <sup>3</sup>	Costo Unitario de la energía kW/h	Costo de energía por m <sup>3</sup> de efluente procesado
Homogeneizador	0,48	\$ 0,06	\$ 0,03
Bombas centrífuga de efluente	0,48	\$ 0,17	\$ 0,08
Bomba centrífuga de lodos	0,48	\$ 0,06	\$ 0,03

#### 3.4.2.4 Costos de Mano de Obra

Para el manejo y mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales se requerirán 02 operarios calificados, los cuales operarán uno por turno (Turno de 08:00 – 16:00 y Turno de 16:00 – 00:00). En la Tabla N° 27 se detallan los salarios para los mismos.

**Tabla N° 27. Costo de la mano de obra requerida para la PTAR.**

COSTO DE MANO DE OBRA			
Puesto	Número de trabajadores	Salario	Costo Total de M.O.
Operarios calificados	2	\$ 451,61	\$ 903,22

\*Los costos incluyen todos sus beneficios sociales.

#### 3.4.2.5 Costos de equipos de medición de parámetros

Serán necesarios equipos de medición de los parámetros principales (SST, DQO, pH y Color), aunque no será necesario contar con un laboratorio completo. Por ello se recomiendan los siguientes equipos para el control de los parámetros del efluente que se encuentre en proceso en la PTAR. (Véase Tabla N° 28 )

**Tabla N° 28. Equipos de medición para el control de los parámetros del efluente que se tratará en la PTAR**

Parámetros	Equipo de medición	Costo (\$)
SST, mg/L	Sensor de Turbidez y Sólidos Suspendidos.	249.00 \$
DQO, mg/L	Fotómetro multiparamétrico.	1 260, 00 \$
pH		
Color		
Total		1 509,00 \$

Teniendo en cuenta todos los costos que se han mencionado, en la Tabla N° 29. Se presenta el costo de 1 m<sup>3</sup> de efluente tratado en el sistema de tratamiento de aguas residuales que se propone en este proyecto.

**Tabla N° 29. Costo de tratamiento de 1 m<sup>3</sup> de efluente en la PTAR propuesta.**

COSTO DE TRATAMIENTO	
Tratamiento	Costo / m <sup>3</sup>
Homogeneización	\$ 0,11
Coagulación-Floculación	\$ 0,24
DAF	\$ 0,71
Filtración	\$ 0,01
Ozonización	\$ 0,95
Energía de bombas	\$ 0,11
<b>Total</b>	<b>\$ 2,12</b>

El costo de tratamiento de un m<sup>3</sup> de efluente en la PTAR propuesto es de \$ 2, 12 dólares, este costo se tomará en cuenta para calcular el costo total del agua en que incurre la empresa con el sistema de tratamiento de las aguas residuales instalado y poder compararlo con el costo del agua en que incurre la empresa, sin la PTAR.

Para calcular el consumo de agua se tomaron los valores del pronóstico de efluente generado de la Tabla N° 16, se dividió el consumo de agua entre 7, ya que el agua procedente de la red de alcantarillado se utilizará 1 vez y luego, después de los procesos de tratamiento se reutilizará 6 veces, teniendo un total de 7 veces de utilización para el proceso de teñido.

Por lo tanto se utilizará la séptima parte de agua de la red de alcantarillado, que se usaba usualmente sin la PTAR, las cuales tienen un costo de \$ 0,7 dólares/m<sup>3</sup> y las 6/7 partes de agua que se necesitaran para el proceso de teñido serán las 6 reutilizaciones del efluente que se genere, las cuales tienen un costo de tratamiento de \$ 2,12 dólares/m<sup>3</sup>.

Los costos de pérdidas de aguas en la PTAR se calcularon tomando en cuenta, que durante el proceso de flotación por aire disuelto hay una pérdida del 0,06 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de efluente.

Los costos de depreciación se detallan en la Tabla N° 30, para cada uno de los equipos que se necesitan para la implementación de la PTAR.

**Tabla N° 30. Costos de depreciación de los equipos de la PTAR.**

Equipos	Costo (\$)	Vida Útil (años)	Depreciación (%)	Depreciación (\$)
Tanque Homogeneizador	7 900,00	20	5%	395,00
Sistema DAF	17 397,14	20	5%	869,86
Filtro	2 200,00	10	10%	220,00
Tanque Pre-Ozonización	1 100,00	10	10%	110,00
Sistema de Ozonización	63 170,05	20	5%	3 158,50
Tanque para Agua Tratada	1 100,00	10	10%	110,00
Tanque para lodos	3 200,00	20	5%	160,00
Bombas para transporte de Efluente	660,00	10	10%	66,00
Bomba para transporte de lodos	270,00	10	10%	27,00
Tubos de PVC de 3m	40,00	10	10%	4,00
<b>Total Depreciación Anual</b>				<b>5 120,36</b>

Las cantidades de consumo de agua actual (sin PTAR), consumo de agua con la PTAR, pérdida de agua en la PTAR, agua tratada para reutilización; para cada periodo, se detallan en la Tabla N° 31.

En la Tabla N° 32 se detallan los costos de las cantidades de agua de la Tabla N° 31. Estos costos se llevarán a un flujo de caja y se compararán con los costos de las aguas en los que incurre la empresa sin la implementación de la PTAR.

En la Tabla N° 33. Se muestra el flujo de caja, donde, se comparan los costos de consumo de agua sin la PTAR, y los costos de consumo de agua con la PTAR. En este flujo de caja la utilidad está representada por el ahorro que significará implantar el sistema de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la hilandería. Estos costos son los que se han detallado en las Tablas N° 18 y N° 32.

En el Anexo N° 38 se muestra el cronograma de pagos para el crédito que se obtendrá para la implementación de la PTAR.

**Tabla N° 31. Consumo de agua para los años del 2015 al 2018, para el proceso de teñido de la hilandería La Inmaculada S.A.C.**

Consumos de	AÑO 2015						AÑO 2016			
	Enero	Febrero	Marzo	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
<b>Agua</b>										
<b>Consumo de Agua Actual, m<sup>3</sup></b>	806,87	806,87	806,87	2436,4	2452,3	2468,2	2484	2499,9	2515,8	2531,6
<b>Consumo de Agua con PTAR, m<sup>3</sup></b>	115,27	115,27	115,27	348,06	350,33	352,60	354,86	357,13	359,40	361,66
<b>Pérdida de agua en PTAR (0,06 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> Efluente)</b>	6,92	6,92	6,92	20,88	21,02	21,16	21,29	21,43	21,56	21,70
<b>Agua tratada para reutilización, m<sup>3</sup></b>	691,60	691,60	691,60	2 088,34	2 101,97	2 115,60	2 129,14	2 142,77	2 156,40	2 169,94

MONEDA: DÓLAR	AÑO 2017				AÑO 2018			
	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 1	Trimestre 2	Trimestre 3	Trimestre 4
<b>COSTOS DE AGUA</b>								
<b>Consumo de Agua Actual (\$)</b>	2547,5	2 563,3	2 579,2	2 595,1	2 610,9	2 626,8	2 642,7	2 658,5
<b>Consumo de Agua con PTAR (\$)</b>	363,93	366,19	368,46	370,73	372,99	375,26	377,53	443,08
<b>Pérdida de agua en PTAR (0,06 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> Efluente) (\$)</b>	21,84	21,97	22,11	22,24	22,38	22,52	22,65	26,59
<b>Agua tratada para reutilización (\$)</b>	2 183,57	2 197,11	2 210,74	2 224,37	2 237,91	2 251,54	2 265,17	2 215,42

**Tabla N° 32. Costos del consumo de agua para la hilandería La Inmaculada S.A.C. con la implementación del STAR.**

<b>MONEDA: DÓLAR</b>	<b>AÑO 2015</b>						<b>AÑO 2016</b>			
<b>OTROS COSTOS</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Trimestre 2</b>	<b>Trimestre 3</b>	<b>Trimestre 4</b>	<b>Trimestre 1</b>	<b>Trimestre 2</b>	<b>Trimestre 3</b>	<b>Trimestre 4</b>
<b>Costo de Consumo de Agua con STAR (\$)</b>	234,78	234,78	234,78	708,93	713,56	718,18	722,78	727,41	732,04	736,63
<b>Costo de tratamiento de Aguas para reutilización (\$)</b>	1.465,82	1.465,82	1.465,82	4.426,15	4.455,04	4.483,92	4.512,63	4.541,51	4.570,40	4.599,10
<b>Costo de pérdida de aguas en STAR (\$)</b>	14,66	14,66	14,66	44,26	44,55	44,84	45,13	45,42	45,70	45,99
<b>Depreciación (\$)</b>	426,70	426,70	426,70	1.280,09	1.280,09	1.280,09	1.280,09	1.280,09	1.280,09	1.280,09
<b>Costo de Mano de Obra calificada (\$)</b>	903,22	903,22	903,22	2.709,66	2.709,66	2.709,66	2.709,66	2.709,66	2.709,66	2.709,66
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>3045,17</b>	<b>3045,17</b>	<b>3045,17</b>	<b>9169,10</b>	<b>9202,90</b>	<b>9236,70</b>	<b>9270,28</b>	<b>9304,09</b>	<b>9337,89</b>	<b>9371,47</b>

<b>MONEDA: DÓLAR</b>	<b>AÑO 2017</b>				<b>AÑO 2018</b>			
<b>OTROS COSTOS</b>	<b>Trimestre 1</b>	<b>Trimestre 2</b>	<b>Trimestre 3</b>	<b>Trimestre 4</b>	<b>Trimestre 1</b>	<b>Trimestre 2</b>	<b>Trimestre 3</b>	<b>Trimestre 4</b>
<b>Costo de Consumo de Agua con STAR (\$)</b>	741,26	745,86	750,48	755,11	759,71	764,33	768,96	902,48
<b>Costo de tratamiento de Aguas para reutilización (\$)</b>	4 627,99	4 656,69	4 685,57	4 714,46	4 743,16	4 772,05	4 800,93	4 695,48
<b>Costo de pérdida de aguas en STAR (\$)</b>	46,28	46,57	46,86	47,14	47,43	47,72	48,01	56,35
<b>Depreciación (\$)</b>	1 280,09	1 280,09	1 280,09	1 280,09	1 280,09	1 280,09	280,09	1 280,09
<b>Costo de Mano de Obra calificada (\$)</b>	2 709,66	2 709,66	2 709,66	2 709,66	2 709,66	2 709,66	709,66	2 709,66
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>9 405,27</b>	<b>9 438,86</b>	<b>9 472,66</b>	<b>9 506,46</b>	<b>9 540,05</b>	<b>9 573,85</b>	<b>9 607,65</b>	<b>9 644,06</b>

### 3.4.3 Flujo de Caja del Proyecto.

**Tabla N° 33. Flujo de caja del proyecto de propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la hilandería La Inmaculada S.A.C. para su reutilización.**

Flujo de Fondos	Año 0	AÑO 1				AÑO 2				AÑO 3				AÑO 4				Total			
		Enero	Febrero	Marzo	2	3	4	1	2	Trimestre 3	Trimestre 4	Trimestre 1	Trimestre 2	3	4	1	2		3	4	
Costos de consumo de agua sin STAR		1643,45	1643,45	1643,45	14024,50	23203,64	5027,29	30059,44	5091,86	25245,21	25403,76	25563,31	25721,86	25881,41	26040,96	26199,51	26359,06	26518,61	26677,16	341947,91	
Costos de consumo de agua con STAR		3045,17	3045,17	3045,17	9169,10	9202,90	9236,70	9270,28	9304,09	9337,89	9371,47	9405,27	9438,86	9472,66	9506,46	9540,05	9573,85	9607,65	9644,06	150216,80	
Total Egresos Operativos		3045,17	3045,17	3045,17	9169,10	9202,90	9236,70	9270,28	9304,09	9337,89	9371,47	9405,27	9438,86	9472,66	9506,46	9540,05	9573,85	9607,65	9644,06	150216,80	
<b>Diferencia Operativa</b>		<b>-1401,72</b>	<b>-1401,72</b>	<b>-1401,72</b>	<b>4855,40</b>	<b>14000,75</b>	<b>-4209,40</b>	<b>20789,16</b>	<b>-4212,23</b>	<b>15907,32</b>	<b>16032,28</b>	<b>16158,04</b>	<b>16283,00</b>	<b>16408,75</b>	<b>16534,50</b>	<b>16659,46</b>	<b>16785,21</b>	<b>16910,96</b>	<b>17033,10</b>	<b>191731,11</b>	
Inversiones	125393,00																				125393,00
<b>Flujo Financiero</b>																					
Prestamo	126000,00																				0,00
Devolución del Prestamo		-3004,67	-3004,67	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-141219,62
Total Flujo Financiero		-3004,67	-3004,67	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-9014,02	-150233,64
<b>Diferencia Ingresos - Egresos</b>	<b>607,00</b>	<b>-4406,40</b>	<b>-4406,40</b>	<b>-10415,74</b>	<b>-4158,61</b>	<b>4986,73</b>	<b>-13223,42</b>	<b>11775,14</b>	<b>-13226,24</b>	<b>6893,31</b>	<b>7018,27</b>	<b>7144,02</b>	<b>7268,98</b>	<b>7394,73</b>	<b>7520,48</b>	<b>7645,44</b>	<b>7771,19</b>	<b>7896,94</b>	<b>8019,08</b>	<b>-83895,53</b>	
Aporte del Empresario	33000																				
<b>Flujo de Fondos</b>	<b>33607,00</b>	<b>29200,60</b>	<b>24794,21</b>	<b>14378,47</b>	<b>10219,85</b>	<b>15206,58</b>	<b>1983,16</b>	<b>13758,30</b>	<b>532,05</b>	<b>7425,36</b>	<b>14443,62</b>	<b>21587,64</b>	<b>28856,62</b>	<b>36251,34</b>	<b>43771,82</b>	<b>51417,26</b>	<b>59188,45</b>	<b>67085,39</b>	<b>75104,47</b>		

Para la realización del proyecto se ha considerado la obtención de un préstamo de \$126 000.00 dólares, que ha sido presupuestado por el Banco de Crédito del Perú, BCP. En el Anexo N° 38, se muestra el cronograma de pagos, se optó además por un periodo de 48 meses para el pago total del crédito.

El capital de trabajo que se requiere es de \$ 33 000.00 dólares, y se recomendó que este aporte lo haga la empresa, con un capital propio, para minimizar los costos de intereses bancarios, al recurrir a un crédito mayor.

Finalmente se han calculado los dos indicadores financieros más importantes para la determinación de la viabilidad económica del proyecto, la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN). En la Tabla N° 34 se muestran los valores para la evaluación económica del proyecto.

**Tabla N° 34. Flujo del proyecto.**

<b>Flujo del Proyecto</b>	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO3</b>	<b>AÑO4</b>
Costo de Agua sin STAR (\$)		47185,77	85800,27	103207,54	105754,33
Costo de Agua con STAR (\$)		36744,20	37283,73	37823,26	38365,61
Ahorro (\$)		10441,58	48516,54	65384,27	67388,72
Inversión	126000,00	-			
Flujo del Proyecto	126000,00	10441,58	48516,54	65384,27	67388,72

Se utilizó una tasa de ganancia requerida del 10% para el cálculo del VAN, para obtener ganancias superiores a los de la entidad crediticia (7%).

**Tasa Interna de Retorno (TIR) = 15 %**

**Valor Actual Neto (VAN) = 18 740,23**

Se puede ver que el proyecto es económicamente viable pues presenta una TIR de 15% mayor a la tasa base de 7% de la entidad financiera, además de obtener un VAN de 18 740,23, un valor positivo que nos indica que la inversión genera valor, en este caso expresado como ahorro económico en la actividad productiva del proceso de teñido.

#### IV. CONCLUSIONES

- De los parámetros analizados del efluente del proceso de teñido, de la hilandería La Inmaculada S.A.C., los valores de pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, y Temperatura, exceden los límites máximos permisibles, por lo cual, es necesaria la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la hilandería La Inmaculada S.A.C. Los valores de conductividad y SST se encuentran dentro de los LMP.
- Se determinó que el proceso de tratamiento de aguas residuales mediante ozonización permite la reutilización del agua residual, ya que a través de este proceso se pueden obtener porcentajes de remoción de tintes del 96% al 100%.
- Se propone el sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de ozonización, para la reutilización de los efluentes generados en el proceso de teñido. Dicho sistema reducirá el consumo de agua, el efluente que se generará y la carga contaminante del mismo. Por ello, es que el sistema propuesto es viable desde el punto de vista de la prevención de la contaminación y de la sostenibilidad ambiental,
- El cálculo de los resultados que se obtendrán para el tratamiento del efluente por medio de ozonización arrojó los siguientes porcentajes de remoción: remoción de DBO = 97%, remoción de DQO = 95%, remoción de SST = 95%, remoción del color = 98%. Estos porcentajes de remoción demuestran la efectividad del tratamiento de aguas residuales propuesto.
- La inversión requerida para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales es de \$ 126 000,00 dólares. Con un capital de trabajo de \$33 000,00 dólares.
- El m<sup>3</sup> de agua tratada a través del sistema propuesto tiene un costo de \$ 2,00 dólares, superior a los \$ 0,70 dólares que cuesta el agua del servicio de alcantarillado; aun así, es viable la implementación del sistema ya que la nueva legislación ambiental, que exige determinados parámetros de calidad de los efluentes para evitar la contaminación, incita a las empresas a respetar la normatividad, y para ello utilizan sanciones para las que no acaten estas normas. Y esto, a mediano plazo genera costos mucho mayores, que los que

se generarían al adaptarse a las nuevas tendencias de producción limpia, utilizando sistemas de tratamiento como el propuesto en este trabajo.

- Se concluye que el tratamiento de las aguas residuales de la hilandería La Inmaculada S.A.C. por medio de ozonización, es económicamente viable, pues en la evaluación financiera se obtuvo un valor de la TIR de 15%, y VAN de \$ 18 740, 23. Estos valores indican que la implementación del sistema generará ganancias para la empresa, que en este caso se verán expresadas en términos de ahorro. Evitando multas y sanciones que impidan ejercer la actividad productiva.
- El efluente procedente del proceso de teñido será reutilizada en el mismo proceso, en 6 ocasiones, pues hasta ese punto, el agua mantiene sus propiedades para ser reutilizada nuevamente en dicho proceso. Con ello se alcanzará una reducción del consumo de agua superior al 80%.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, Merly; Alemán, Arnulfo; y Hormaza, Angelina. 2011. “Remoción de rojo básico de un efluente textil simulado: un caso de aplicación de la cascarilla de arroz”. Producción Más Limpia, Vol.6.Nº1-66\*75
- Cegarra, José. 2008. “Fisicoquímica de la tintura de las fibras acrílicas con colorantes catiónicos”. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Tarrasa. España.
- Del Rio, Ana. 2011. “Estudio de la reducción, oxidación y oxido-reducción electroquímica aplicado a la decoloración/degradación de aguas de tintura textiles que contienen colorantes reactivos con grupos AZO como Cromóforo”. Tesis Doctoral. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.
- EPA – Agencia de protección ambiental de EEUU. 1999. “Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con ozono”. Washington D.C.
- Fernández, Antonio; Letón, Pedro; Rosal, Roberto; Dorado, Miriam; Villar, Susana; y Sanz, Juana. 2006. “Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales”. Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía. Madrid.
- Garcés, Luis; Hernández, Marta; Peñuela, Gustavo; Rodríguez, Alejandra; y Salazar, Julián. 2005. “Degradación de aguas residuales de la industria textil por medio de fotocatalisis”. Revista Lasallista de Investigación, Vol. 2 Nº 1.pp. 15-18
- Heizer, Jay; y Barry, Render. 2007. “Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones estratégicas, 8ª edición”. Pearson Educación S.A. Madrid.
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2007. “Toma de muestras de Aguas Residuales”. Subdirección de Hidrología. Colombia
- Laasri, Laila; Khalid, Elamrani; y Cherkaoui, Omar. 2007. “Removal of Two Cationic Dyes from a Textile Effluent by Filtration-Adsorption on Wood Sawdust”. Env Sci Pollut Res 14(4)237-240.

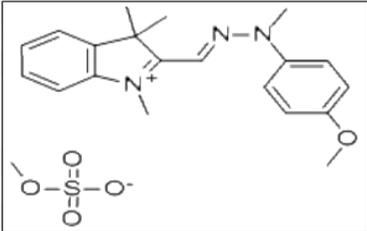
- Ministerio del Ambiente. 2009. “Normas Legales, Ley de recursos Hídricos”. [http://www.minam.gob.pe/index.php?option=com\\_content&view=article&id=100](http://www.minam.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=100) (Consultado 05 Junio 2013).
- Ovejero, Gabriel; Sotelo, Luis; Rodríguez, Araceli; Vallet Ana; y García Juan. 2011. “Wet air oxidation and catalytic wet air oxidation for dyes degradation”. *Environ Sci Pollut Res*. DOI 10.1007/s11356-011-0504-6
- Poznyak, Tatyana; Colindres, Pablo; y Chairez, Isaac. 2007. “Treatment of Textile Industrial Dyes by Simple Ozonation with Water Recirculation”. *Journal of the Mexican Chemical Society*, Vol.51.Nº2,pp 81-86.
- Quintero, Luz y Cardona, Santiago. 2011. “Evaluación del tratamiento biológico para remoción de color indigo de agua residual industria textil”. *Revista Gestión y Ambiente*. Medellín.
- Red Textil Argentina. Última Actualización 2012. <http://www.redtextilargentina.com.ar>. (consultado 17 de Mayo del 2013).
- Rodriguez, Tetiana; Botelho, Diego y Cleto, Eduardo. 2008. “Tratamiento de Efluentes Industriales de Naturaleza Recalcitrante Usando Ozono, Peróxido de Hidrógeno y Radiación Ultravioleta. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la universidad de Antioquia*.
- Salas, Colotta. 2003. “Tratamiento Físico-Químico de Aguas Residuales de la Industria Textil”. *Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
- Salazar, Lorena; Crespi, Martí; y Salazar Roberto. 2009. “Tratamiento de aguas residuales textiles mediante un biorreactor de membrana”. *Revista Científica Ingeniería y Desarrollo* N° 26, ISSN: 0122-3461.
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). 2010. “Tecnologías de Adsorción con Carbón Activado. Tecnología no Convencional de tipo Físico-Químico”. *Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)*. Chile.
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). 2010. “Tecnologías de Flotación por Aire Disuelto - DAF. Tecnología Convencional de tipo Físico-Químico”. *Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)*. Chile.

- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). 2010. “Tecnologías de Membrana, Ultra y Microfiltración. Tecnología Convencional de tipo Físico-Químico”. Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Chile.
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). 2010. “Procesos de Oxidación Avanzada. Tecnología no Convencional de tipo Físico-Químico”. Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Chile.

## **VI. ANEXOS**

## ANEXO 01. HOJA TÉCNICA DEL TINTE AMARILLO ORO BÁSICO GL

<b>BASIC YELLOW 28 - Información Básica</b>	
Nombre del Producto:	BASIC YELLOW 28 – AMARILLO ORO BASICO GL
Sinónimos:	SPECIAL GOLDEN YELLOW GL; BASIC YELLOW 28; Cationic Gold Yellow X-GL; C.I. BASIC YELLOW 28; Cationic Golden Yellow GL; Basic Golden Yellow GL; Cationic Golden Yellow X-GL
CAS:	54060-92-3
Fórmula Molecular:	C <sub>21</sub> H <sub>27</sub> N <sub>3</sub> O <sub>5</sub> S
Peso Molecular:	433.52 g/mol
Número de Registro de sustancia química EINECS:	258-946-7
Categoría del Producto:	Tintes y Pigmentos
Apariencia:	Polvo
Estado Físico:	Sólido

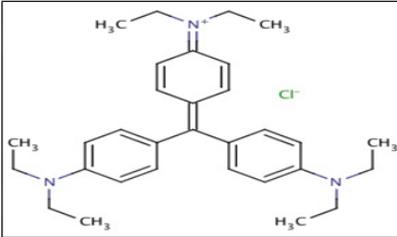


The chemical structure of Basic Yellow 28 is shown. It features a central benzimidazole ring system with a positive charge on the nitrogen atom. This is connected via an imine bridge to a para-substituted benzene ring. The para position of this benzene ring has a methoxy group (-OCH<sub>3</sub>). A separate sulfonate group is shown as a counterion: -O-SO<sub>3</sub>-O<sup>-</sup>.

<b>Información de Seguridad</b>	
Certificación para embalaje:	3261
Clase de Peligro:	8
Tipo de Embalaje:	III
Almacenamiento:	A temperatura Ambiente

## ANEXO 02. HOJA TÉCNICA DEL TINTE VIOLETA BÁSICO

<b>BASIC VIOLET - Información Básica</b>	
Nombre del Producto:	BASIC VIOLET - VIOLETA BASICO
Sinónimos:	Ethyl Violet, Basic Violet, Violeta Básico, Cationic Violet, Special Basic Violet.
CAS:	2390-59-2
Fórmula Molecular:	C <sub>31</sub> H <sub>42</sub> N <sub>3</sub> Cl
Peso Molecular:	492.14 g/mol
Número de Registro de sustancia química EINECS:	219-231-5
Categoría del Producto:	Tintes y Pigmentos
Apariencia:	Polvo
Estado Físico:	Sólido



The chemical structure of Basic Violet is shown. It consists of a central benzene ring with a positive charge on the nitrogen atom, which is bonded to two ethyl groups (-CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>). This central ring is connected via a double bond to two para-substituted benzene rings. Each of these outer benzene rings has a diethylamino group (-N(CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) attached at the para position. A chloride ion (Cl<sup>-</sup>) is shown as a counterion.

<b>Información de Seguridad</b>	
Certificación para embalaje:	3261
Clase de Peligro:	8
Tipo de Embalaje:	III
Almacenamiento:	A temperatura Ambiente

## ANEXO 03. HOJA TÉCNICA DEL TINTE AMARILLO BRILLANTE BÁSICO

### BASIC YELLOW 8GL - Información Básica

Nombre del Producto:	BASIC YELLOW 8GL – AMARILLO BRILLANTE BASICO 8GL
Sinónimos:	CATIONIC YELLOW GL; BASIC YELLOW X-8GL; Cationic Yellow X-8GL; C.I. BASIC YELLOW 8GL; Basic Yellow 6GL; Basic Yellow 13.
CAS:	12217-50-4
Fórmula Molecular:	$C_{20}H_{23}ClN_2O$
Peso Molecular:	342.86 g/mol
Número de Registro de sustancia química EINECS:	357-592-1
Categoría del Producto:	Tintes y Pigmentos
Apariencia:	Polvo
Estado Físico:	Sólido

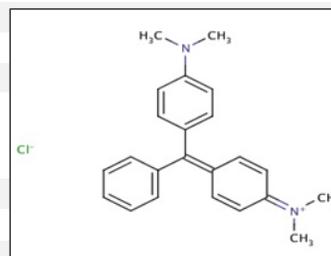
### Información de Seguridad

Certificación para embalaje:	3261
Clase de Peligro:	8
Tipo de Embalaje:	III
Almacenamiento:	A temperatura Ambiente

## ANEXO 04. HOJA TÉCNICA DEL TINTE AMARILLO BRILLANTE BÁSICO

### MALACHITE GREEN CRYSTALS - Información Básica

Nombre del Producto:	MALACHITE GREEN - VERDE MALAQUITA CRISTALES
Sinónimos:	MALACHITE GREEN; BASIC MALACHITE GREEN; Cationic Green Crystals; Basic Green 4; Malachite Green Cry.
CAS:	569-64-2
Fórmula Molecular:	$C_{23}H_{25}ClN_2$
Peso Molecular:	364.91 g/mol
Número de Registro de sustancia química EINECS:	-
Categoría del Producto:	Tintes y Pigmentos
Apariencia:	Polvo
Estado Físico:	Sólido



### Información de Seguridad

Certificación para embalaje:	3261
Clase de Peligro:	8
Tipo de Embalaje:	III
Almacenamiento:	A temperatura Ambiente

## ANEXO 05. HOJA TÉCNICA DEL TINTE AZUL BÁSICO

### BASIC BLUE - Información Básica

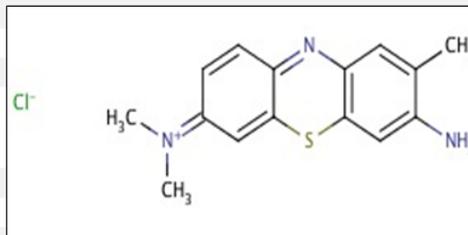
Nombre del Producto: BASIC BLUE – AZUL BASICO

Sinónimos: CATIONIC BLUE; BASIC BLUE 17; Cationic Blue 17; C.I. Blutene Chloride; Azul Básico

CAS: 92-31-9  
Fórmula Molecular:  $C_{15}H_{16}N_3S.Cl$   
Peso Molecular: 305.83 g/mol

Número de Registro de sustancia química EINECS: 202-146-2

Categoría del Producto: Tintes y Pigmentos  
Apariencia: Polvo  
Estado Físico: Sólido



### Información de Seguridad

Certificación para embalaje: 3261  
Clase de Peligro: 8  
Tipo de Embalaje: III

## ANEXO 06. HOJA TÉCNICA DEL TINTE AZUL TURQUESA BÁSICO

### BASIC TURQUOISE BLUE - Información Básica

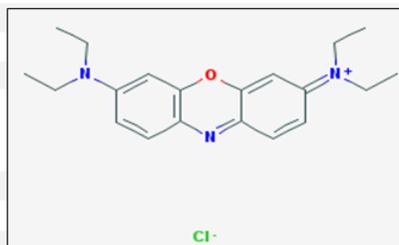
Nombre del Producto: BASIC TURQUOISE BLUE - AZUL TURQUESA BASICO

Sinónimos: BASIC BLUE 4; ACRYLIC BLUE 3G; Cationic Blue 4; Astrazon Blue GB; Cationic Turquoise Blue GB

CAS: 55840-82-9  
Fórmula Molecular:  $C_{20}H_{26}ClN_3O$   
Peso Molecular: 359.89 g/mol

Número de Registro de sustancia química EINECS: -

Categoría del Producto: Tintes y Pigmentos  
Apariencia: Polvo  
Estado Físico: Sólido



### Información de Seguridad

Certificación para embalaje: 3261  
Clase de Peligro: 8  
Tipo de Embalaje: III  
Almacenamiento: A temperatura Ambiente

## ANEXO 07. HOJA TÉCNICA DEL TINTE ROJO BÁSICO

### BASIC RED - Información Básica

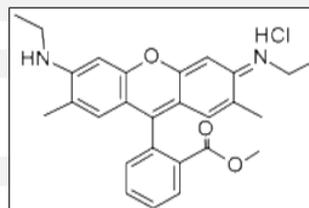
Nombre del Producto: BASIC BLUE – ROJO BASICO

Sinónimos: CATIONIC RED; BASIC RED 1; Cationic Red 1; Chloride Basic Red; Rojo Básico

CAS: 3068-39-1  
Fórmula Molecular:  $C_{27}H_{29}N_2ClO_3$   
Peso Molecular: 464.984 g/mol

Número de Registro de sustancia química EINECS: 221-326-1

Categoría del Producto: Tintes y Pigmentos  
Apariencia: Polvo  
Estado Físico: Sólido



### Información de Seguridad

Certificación para embalaje: 3261  
Clase de Peligro: 8  
Tipo de Embalaje: III  
Almacenamiento: A temperatura Ambiente

## ANEXO 08. HOJA TÉCNICA DEL TINTE NEGRO BÁSICO

### BASIC BLACK - Información Básica

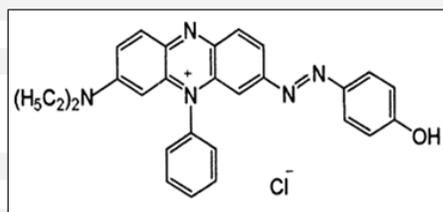
Nombre del Producto: BASIC BLACK - NEGRO BASICO

Sinónimos: BASIC BLACK; CATIONIC BLACK; Cationic Black 1; Cationic Basic Black; Cationic Ebony Basic 1; Negro Básico

CAS: 4443-99-6  
Fórmula Molecular:  $C_{28}H_{26}N_5ClO$   
Peso Molecular: 483.99 g/mol

Número de Registro de sustancia química EINECS: -

Categoría del Producto: Tintes y Pigmentos  
Apariencia: Polvo  
Estado Físico: Sólido



### Información de Seguridad

Certificación para embalaje: 3261  
Clase de Peligro: 8  
Tipo de Embalaje: III  
Almacenamiento: A temperatura Ambiente

## ANEXO 09. HOJA TÉCNICA DEL TINTE FLAVINA BÁSICO

## BASIC FLAVIN - Información Básica

Nombre del Producto: BASIC FLAVIN - FLAVINA BASICO

Sinónimos: BASIC FLAVINA; CATIONIC FLAVINA; Cationic Flavina 1; Cationic Basic Flavina; Cationic Blue Flavina; Blue Flavina 1; Flavina Básico

CAS: 86189-63-1

Fórmula Molecular:  $C_{13}H_{12}N_4O_2S$

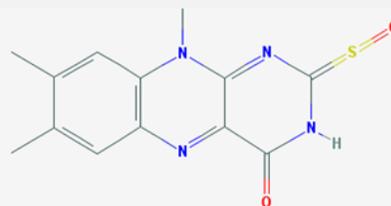
Peso Molecular: 288.324 g/mol

Número de Registro de sustancia química EINECS: -

Categoría del Producto: Tintes y Pigmentos

Apariencia: Polvo

Estado Físico: Sólido



## Información de Seguridad

Certificación para embalaje: 3261

Clase de Peligro: 8

Tipo de Embalaje: III

Almacenamiento: A temperatura Ambiente

## FICHA TÉCNICA

### ÁCIDO FÓRMICO

#### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre Químico	Acido Fórmico
Formula Química	HCOOH
Peso molecular	46.03
Sinónimos	Ácido hidrógeno carboxílico Ácido metanoico, ácido formílico

#### 2. DESCRIPCIÓN

Líquido claro, olor picante penetrante.  
Comercialmente en concentraciones del 85%, 90% y 95%.  
Soluble en agua, alcohol y éter.

#### 3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Pureza como acido fórmico	85% mín.
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> )	50 ppm máx.
Hierro (Fe)	5 ppm máx.
Material no volátil	50 ppm máx.
Color	10 APHA máx.
Cloruros	20 ppm máx.
Perdidas por ignición	20 ppm máx.
pH (10 gr/L 20 ° C )	2.2

#### 4. PROPIEDADES

Aspecto físico	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Picante
Punto de solidificación	- 13 ° C
Punto de ebullición	107.3° C
Punto de fusión	8.6°C
Punto de inflamación	65° C
Densidad	1.195 (20° C)

FECHA	REALIZO	REVISO	ACTUALIZO
2007/07/ 13	I.Q. Iván Darío Ospina	I.Q. Doria María Naranjo	I.Q. Iván Darío Ospina

Cra. 50C N° 10 Sur-18 Tels: 361 07 11-361 05 03-255 35 00-285 97 34 Fax: 285 64 74  
Apartado Aéreo: 060802 - e-mail: [quindus@epm.net.co](mailto:quindus@epm.net.co) Medellín - Colombia.

## FICHA TÉCNICA SAL TEXTIL

### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre Químico	Cloruro de Sodio
Formula Molecular	Na Cl
Peso Molecular	58.5 g/mol

### 2. DESCRIPCIÓN

- Cristales transparentes, incoloros o polvo blanco cristalino, algo higroscópico.
- Soluble en agua y glicerol, muy soluble en alcohol.
- Producto no combustible, poco tóxico.

### 3. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Contenido NaCl (base seca)	99% min.
Contenido de humedad	0.2% máx.
Contenido de Ca (como Ca <sup>+2</sup> ppm)	16 máx.
Contenido de Mg (como Mg <sup>+2</sup> ppm)	2.0 máx.
Otros insolubles en agua	1600 ppm máx.
Contenido de Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	2800 ppm máx.

### 4. PROPIEDADES

Apariencia	Sólido
Color	Blanco cristalino
Olor	inodoro
Peso específico	2.165
Punto de fusión	801°C
Punto de ebullición	1.413°C

### 5. APLICACIONES

Usada en la industria textil para la estandarización de la intensidad del tinte y fijación del color en las fibras textiles, utilizando esta sal los colorantes se adhieren mejor a la tela, dándole un color mucho más intenso, homogéneo y duradero.

No tiene contenido de materia orgánica (microorganismos marinos), por lo tanto, es altamente recomendable en usos industriales para equipos de agitación ya que no forma espuma.

FECHA	REALIZO	REVISO	ACTUALIZO
2006/11/ 03	I.Q. Iván Darío Ospina	I.Q. Doria María Naranjo	I.Q. Iván Darío Ospina

Cra. 50C N° 10 Sur-18 Tels: 361 07 11-361 05 03-255 35 00-285 97 34 Fax: 285 64 74  
Apartado Aéreo: 060802 - e-mail: quindus@une.net.co Medellín - Colombia.

## FICHA TÉCNICA

### SODA CAUSTICA 98 % Mín.

#### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre Químico	Hidróxido de Sodio
Formula Molecular	NaOH
Sinónimos	Hidrato de Sodio, Lejía, Caustico Blanco Sosa cáustica
Peso molecular	40.1

#### 2. DESCRIPCIÓN

Fragmentos, terrones, barras, lentejas o escamas con fractura cristalina. Delisquescente e higroscópico, soluble en agua, alcohol y glicerina; ligeramente soluble en éter. No es inflamable pero reacciona con algunos metales

#### 3. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Na OH, %	98 mín.
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , %	0,8 máx.
Na CL, %	0,1 máx.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	0,1 máx.

#### 4. PROPIEDADES

Presentación	Escamas
Color	Blanco.
Olor	inoloro
Punto de fusión	322° C
pH ( Solucional 5%)	14.
Solubilidad en agua	109 gr/100 ml a 25°C. 342 gr/100 ml a 100 °C
Densidad	2.13 gr/ml

#### 5. APLICACIONES

En la industria curtidora se usa como desengrasante, en la industria de limpieza como detergente, se utiliza como limpiador en la industria galvanotécnica, como decapante en la industria metal mecánica y en la industria textil para mercerización.

FECHA	REALIZO	ACTUALIZO
2010/05/31	I.Q. Iván Darío Ospina	I.Q. Iván Darío Ospina

Cra. 50C N° 10 Sur-18 Tels: 361 07 11-361 05 03-255 35 00-285 97 34 Fax: 285 64 74  
Apartado Aéreo: 060802 - e-mail: [quindus@ume.net.co](mailto:quindus@ume.net.co) Medellin - Colombia.

## FICHA TÉCNICA

### PERÓXIDO DE HIDROGENO GRADO QUÍMICO

#### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre Químico	Peróxido de Hidrógeno
Formula Molecular	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Peso Molecular	34.016 g/mol
Sinónimos	Dióxido de hidrógeno Agua oxigenada

El peróxido de Hidrógeno o Agua Oxigenada como se conoce comunmente es un agente oxidante fuerte, relativamente fácil de manejar, es producido a partir de gas de hidrógeno y oxígeno del aire mediante el método AO (Oxidación de Antraquinona).

El Peróxido de Hidrógeno Grado Químico, no es USP o FCC, por lo tanto su uso o aplicación diferentes a Grado Químico es bajo responsabilidad del usuario.

#### 2. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Concentración (% peso)	49.9 - 50.5%
Hierro	máx. 10 ppm
Estaño	máx. 10 ppm
Residuo por evaporación	0.12% máx.

#### 3. PROPI EDADES

Presentación	Líquido Cristalino
Color	max 15° APHA
Olor	inoloro
Densidad (20°C, g/cm <sup>3</sup> )	1.2 máx.
Punto de Ebullición (°C)	114
Punto de Fusión (°C)	-52
pH	2.5 máx.
Viscosidad (20° C), Ns/ m <sup>2</sup>	0.00117
*Estabilidad	10% máx.
**Acidez, ml NaOH/25g H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2.5 máx.

\*Descomposición a 96°C, 16 horas

\*\*Acidez en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 29-32°C, según USP

FECHA	REALIZO	REVISO	ACTUALIZO
2006/11/ 03	I.Q. Iván Darío Ospina	I.Q. Doria Maria Naranjo	I.Q. Iván Darío Ospina

Cra. 50C N° 10 Sur-18 Tels: 361 07 11-361 05 03-255 35 00-285 97 34 Fax: 285 64 74  
Apartado Aéreo: 060802 - e-mail: quindus@une.net.co Medellín - Colombia

## HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD PEROXIDO DE HIDROGENO

Rótulo NFPA



Rótulos UN



Fecha Revisión: 21/03/2005

### SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

<b>Nombre del Producto:</b>	PEROXIDO DE HIDROGENO
<b>Sinónimos:</b>	Dióxido de hidrógeno.
<b>Fórmula:</b>	H2O2
<b>Número interno:</b>	
<b>Número UN:</b>	2015
<b>Clase UN:</b>	5.1
<b>Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad:</b>	Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884367. Bogotá, D.C. - Colombia.
<b>Teléfonos de Emergencia:</b>	

### SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES				
Componente	CAS	TWA	STEL	%
Peróxido de hidrógeno	7722-84-1	1.4 mg/m3 (1 ppm) (ACGIH 2004)	N.R. (ACGIH 2004)	> 90
<b>Uso:</b> Blanqueadores de textiles, alimentos, papel, en la producción de químicos, plásticos, farmacéuticos, electroplateado, tratamiento de agua, refinado y limpieza de metales, combustible de cohetes, caucho para espuma, antiséptico, agente neutralizante en la destilación del vino, desinfectante de semillas.				

### SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

#### VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

¡Peligro! Oxidante fuerte. Corrosivo. Al contacto con otro material puede causar fuego. Puede ser dañoso si es ingerido. Puede causar efectos en el Sistema nervioso central, anomalías en la sangre, irritación severa en los tractos respiratorio y digestivo e irritación en la piel con posibles quemaduras. Al contacto con los ojos puede dar lugar a daños permanentes.

#### EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

<b>Inhalación:</b>	Sensación de ardor en la garganta, tos. Posible paro respiratorio y edema pulmonar.
<b>Ingestión:</b>	Corrosivo. Ardor en la garganta, dolor en el pecho, vómito, hemorragias. La formación espontánea de oxígeno en el esófago o estómago puede ocasionar heridas.
<b>Piel:</b>	Corrosivo a concentraciones mayores del 10%. Blanqueamiento de la piel y picazón.
<b>Ojos:</b>	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa. Puede causar daños irreparables en la retina y eventualmente ceguera. Efectos retardados hasta 1 semana después.
<b>Efectos crónicos:</b>	El contacto prolongado o repetido con la piel puede causar dermatitis. Los experimentos del laboratorio han dado lugar a efectos mutágenos. El contacto repetido puede causar daño cómeo.

### SECCIÓN 4: PROCEDIMIENTOS DE PRIMEROS AUXILIOS

PEROXIDO DE HIDROGENO

CISPROQUIM 1



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS  
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**

**"TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE  
LA MEJOR CALIDAD, CUÍDELA NO LA DESPERDICIE"**

EPSEL S.A.  
GERENCIA OPERACIONAL  
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

**RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS  
HILANDERA LA INMACULADA S.A.C**

PARÁMETROS	Amarillo retama	Azul marino
Código de la muestra	LCC- 4678 -13	LCC- 4679 -13
Fecha de Análisis:	26/11/2013	26/11/2013
PH	3.99	3.75
CONDUCTIVIDAD	662	1072
DBO5,mg/l	126.23	190.58
DQO,mg/l	240	261
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	0.1	0.1

**OBSERVACIONES:**

Las muestras fueron recolectadas y alcanzadas al Laboratorio Central por personal interesado.



OFICINAS: Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo - Telef. 253479 - 252291 - Telefax 253520  
Gerencia Operacional Telf. 254132 - Av. Miguel Grau N° 451 Gerencia Comercial Telf. 273609 - 235757  
Emergencias Telf. 238363 - 208877- Pag. Web: www.epsel.com.pe

Fuente: Oficina de Control de Calidad, EPSEL S.A.

**ANEXO Nº16. CARTA DE LA HILANDERÍA LA INMACULADA PARA APROBACIÓN DE INVESTIGACIÓN.**

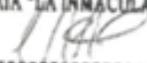
## CONSTANCIA

El señor **LUIS ALBERTO AGUIRRE RAMIREZ** identificado con DNI: 80330840, GERENTE GENERAL DE LA EMPRESA: **HILANDERIA LA INMACULADA S.A.C.**

Qué, el señor **Percy Daniel Medina Rivera**, identificado con DNI: 47193002, estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, obtendrá información de la empresa a la cual represento **Hilandería La Inmaculada S.A.C.**, para la elaboración de su tesis que lleva por nombre Propuesta de un **Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales de la Hilandería La Inmaculada S.A.C. para la Reutilización**, demostrándonos iniciativa, responsabilidad, honestidad, con la información y el trabajo realizado.

Se extiende la presente a solicitud del interesado, para los fines que crea conveniente.

Chiclayo 02 de Abril del 2014

HILANDERIA "LA INMACULADA" SAC.  
  
-----  
*Luis Alberto Aguirre Ramirez*  
-----  
GERENTE GENERAL

Luis Alberto Aguirre Ramirez

Gerente General  
**Hilandería La Inmaculada S.A.C.**

**ANEXO Nº17. CARTA DE LA HILANDERÍA LA INMACULADA PARA APROBACIÓN DE INVESTIGACIÓN.**

HILANDERÍA "LA INMACULADA S.A.C."

CARTA DE COMPROMISO PARA INVESTIGACIÓN

Chiclayo, 08 de Mayo del 2013

Dirigido a:

**Facultad de Ingeniería - USAT**

**Escuela de Ingeniería Industrial**

Estimados Señores,

Reciban por este medio un respetuoso saludo y deseos de éxitos. Me es grato manifestar que la Administración de la Hilandería La Inmaculada S.A.C. ha tenido conocimiento de la intención del estudiante **Percy Daniel Medina Rivera**, identificado con Documento de Identidad N° 47193002, estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, de realizar un proyecto de investigación dentro de nuestra empresa, centrado en las aguas residuales de los procesos que se ejecutan dentro de la planta.

En relación con el citado proyecto **manifestamos nuestro interés para que sea llevado a cabo, comprometiéndonos a apoyar durante el proceso**, facilitándole la información necesaria que esté dentro de nuestra data y permitiéndole realizar las visitas necesarias a nuestras instalaciones para la investigación correspondiente.

Sin otro particular, saluda atentamente:

HILANDERÍA "LA INMACULADA" SAC.

  
-----  
*Luis Alberto Aguirre Ramirez*  
-----  
GERENTE GENERAL

Luis Alberto Aguirre Ramirez

Gerente General

HILANDERÍA LA INMACULADA S.A.C.

# SISTEMAS DAF SERIES PCCS

## Flotación

1. Acción y efecto de flotar. 2. Ingen. Proceso para concentrar y separar sólidos de granulometría fina que presentan distintas propiedades superficiales, generalmente mezclas de minerales y gangas.



Los sistemas por flotación por aire disuelto series PCCS son la muestra perfecta de la ingeniería eficiente. Su diseño maximiza las áreas de separación libre y efectiva en un diseño compacto. Esto permite tener una mayor carga de sólidos y carga hidráulica que otros DAF de tamaño similar.

Los sistemas DAF PCCS caben dentro de contenedores estándar de 20 pies. Esto hace que el transporte del sistema DAF sea más sencillo y más eficiente en su costo, especialmente para transporte marítimo.

Las unidades PCCS, como todos los otros DAF de FRC, pueden ser fabricados con bombas de recirculación tipo ANSI. Todas las unidades vienen estándar con el tubo de dilución de aire lo que permite un control preciso en la generación de "agua blanca" (agua saturada con aire).

Los DAF PCCS están disponibles para tasas de flujo de hasta de 34 m<sup>3</sup>/hr y pueden ser suministrados como una unidad o pre ensamblada en plataformas como solución para operar inmediatamente (plug & play).



Los DAF modelo PCCS caben dentro de un contenedor ISO estándar de 20 pies para un transporte sencillo ya sea por tierra o mar.



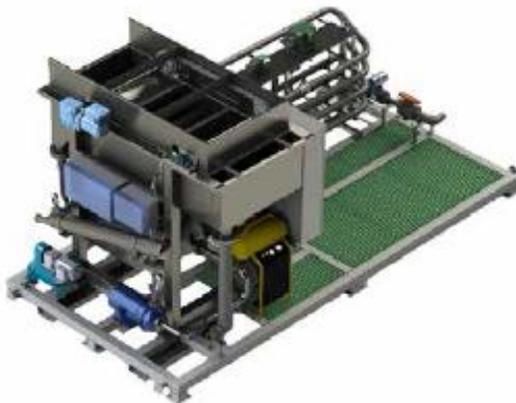
## DETALLES DEL SISTEMA

1. Caja distribuidora del afínente
2. Múltiple de agua blanca
3. Válvula drenaje de sólidos
4. Tubo difusión de aire
5. Bomba de recirculación
6. Motor del sistema desnatador
7. Ensamble sistema desnatador
8. Cámara lodos flotantes



## ESPECIFICACIONES DEL MODELO

Modelo	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Área Libre (m <sup>2</sup> )	Área Efectiva (m <sup>2</sup> )
PCCS-25	5,5	0,7	3,15
PCCS-50	11	1,4	6,3
PCCS-100	22	2,8	11,7
PCCS-150	34	4,2	18



## PCCS PRE ENSAMBLADAS EN PLATAFORMAS

Los DAF PCCS pueden ser suministrados en una configuración lista para conectar y arrancar, dirigido al usuario final que busca una solución completa. La plataforma cabe dentro de un contenedor para un transporte sencillo en ultramar o a sitios de trabajo en locaciones remotas.

- > Bomba de alimentación
- > Instrumentos control de flujo
- > Bombas dosificadoras de químicos
- > Panel de control eléctrico
- > Compresor de aire
- > Bomba de lodos
- > Flocculador
- > Plataforma

FRC Systems International, LLC | PO Box 3147 Cumming, GA 30028  
(770) 534-3681 | [www.frcsystems.com](http://www.frcsystems.com) | [info@frcsystems.com](mailto:info@frcsystems.com)

**FRC**  
SYSTEMS INTERNATIONAL  
Trusted Wastewater Solutions™

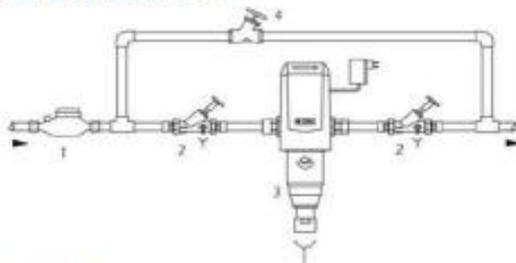
## CILLIT MULTIPUR A/AP, A/AP COMBI, A/AP BIO y A/AP COMBI BIO

Filtro autolimpiante totalmente automático certificado según UNE EN 13443-1 y CTE  
Modelos: 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2" y 2".



El filtro de protección **CILLIT®- MULTIPUR A/AP COMBI y BIO** es un modelo que incorpora además un reductor de presión de características y calidad avanzadísimas, con el que se logra la doble función de filtrar el agua y, a la vez, reducir la presión de entrada a los valores ideales para un correcto funcionamiento de toda la instalación.

### ESQUEMA DE INSTALACIÓN



#### LEYENDA:

1. Contador
2. Cillit®-MULTI RV (válvula de cierre, válvula antirretorno, grifo de toma de muestras, punto de inyección)
3. Cillit®-MULTIPUR A/AP MULT
4. Válvula de by-pass

### DATOS TÉCNICOS

CILLIT®- MULTIPUR A/ AP, A/AP COMBI y A/AP BIO		3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Enlaces	DN	20	25	32	40	50
Caudal	m <sup>3</sup> /h	3,5	4,5	5,0	9,0	11,0
Pérdida de carga	bar	0,2				
Presión mín/máx. nominal	bar	2,5 durante el lavado a contracorriente/16				
Presión de salida modelo COMBI	bar	2-6				
Temperatura máx. agua/ambiente	°C	30/40				
Grado de filtración	µm	90				
Conexión eléctrica	V/Hz	230/ 50-60 (funcionamiento del equipo a 24V)				
<b>CILLIT®MULTIPUR A/AP, A/AP COMBI</b>						
Altura del filtro (L)	mm	190	190	190	190	190
Anchura incluido enlaces (A)	mm	205	205	220	240	260
<b>CILLIT®MULTIPUR A/AP BIO</b>						
Altura del filtro (L)	mm	460	460	460	460	460
Anchura incluido enlaces (A)	mm	205	205	238	240	260

### CILIT®-BEWAZON VU-L-W

Generadores de ozono

Modelos: Desde 25 g/h hasta 700 g/h

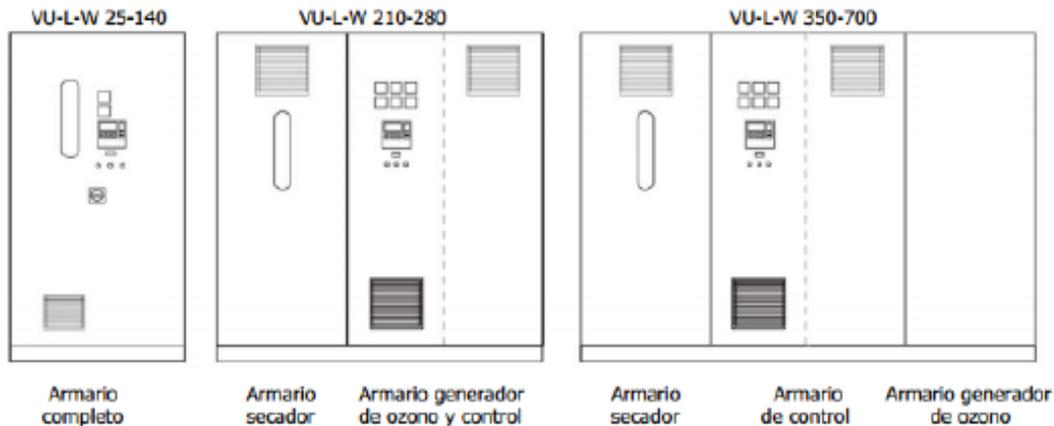
Abril 2009

RC-054-01

#### DATOS TÉCNICOS

Generador de ozono BEWAZON VU-L-W	25	45	70	140	210	280	350	420	490	560	630	700	
Producción de ozono según DIN 19627	25	45	70	140	210	280	350	420	490	560	630	700	
Concentración de ozono según DIN 19627	g/m <sup>3</sup> 20												
Gas empleado	Aire												
Presión de servicio	Bar. rel. -0,1 - 0,0												
Clase de protección	IP 53												
Temp. Ambiente mín./máx.	°C 5-30												
Humedad del aire rel. máx.	% 60												
Tensión de servicio 3NPE	V/Hz 400 (±15) 50/60 Hz ***)												
Consumo eléctrico máx. de una fase *) **)	A	14	18	10	16	25	32	32	39	45	52	39	45
Fusible *)	A, 3r	20	25	25	35	50	63	63	80	80	80	80	80
Caudal de agua refrigerante	L/h	40	70	100	200	300	400	600	700	800	900	1000	
Conexión de agua refrigerante	DN	15	15	20	20	20	20	20	25	25	25	25	
Caudal de aire	Nm <sup>3</sup> /h	1,35	2,25	3,5	7,0	10,5	14,0	17,5	21,0	24,5	28,0	31,5	35,0
Conexión de gas ozono	DN	15	15	20	20	25	25	32	32	32	32	32	
Anchura de armario secado	mm	--	--	--	--	800	800	800	800	800	1200	800	800
Anchura de armario de control	mm	--	--	--	--	--	--	1200	1200	1200	1000	1200	1200
Anchura de armario generador	mm	--	--	--	--	--	--	800	800	1000	1000	1200	1200
Anchura armario control/generador	mm	--	--	--	--	1200	1200	--	--	--	--	--	--
Anchura de toda la instalación (dejar 400 mm más libres)	mm	800	800	1000	2000	2000	2000	2800	2800	3000	3000	3200	3200
Altura (dejar 200 mm más libres para conexiones)	mm	1900	1900	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	
Profundidad	mm	500	500	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
Peso sin embalaje	Kg	360	360	550	900	900	1000	1250	1280	1480	1580	1700	1800

\*) En modelos especiales es posible que los datos indicados varíen. \*\*) Cada fase tiene un consumo eléctrico distinto. \*\*\*) Con frecuencia de red de 60 Hz varía el número de niveles de producción.



La presente información técnica tiene en cuenta la experiencia de la sociedad y se aplica para un uso normal del producto, según descrito en el presente documento; otro tipo de aplicaciones deben autorizarse particularmente. En casos muy concretos y difíciles de necesario establecer un acuerdo con nuestro Servicio de Asistencia Técnica que cubra todo el territorio nacional con el fin de poder controlar los resultados y aprobar las posibles modificaciones. CILIT se reserva el derecho a cualquier modificación de sus propios productos. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta documentación que es propiedad de la Sociedad.

## CILLIT TC OZONO

Para el contacto del agua de proceso con el ozono

Modelo: CILLIT-TC 4500-200



- Las torres de contacto CILLIT TC 4500 están fabricadas en poliéster bobinado con fibra de vidrio y recubrimiento interior mediante liner de PVC anticorrosivo para la mezcla del ozono y el agua.
- Están diseñadas para resistir una concentración de ozono máxima de 2 ppm.
- Dispone de boca de hombre superior de cierre rápido.
- Entrada y salida con brida loca.

### DATOS TÉCNICOS

Torre de reacción especialmente diseñada para garantizar el tiempo de contacto necesario entre el agua y el ozono. Construida totalmente en material adecuada para agua con ozono.

El suministro comprende:

- Cuerpo depósito
- Sistema de distribución interno, para entrada y salida del agua
- Válvula automática de desaireación para evacuar el aire y el ozono residual en acero inoxidable.

Características técnicas	CILLIT TC 4500-200
Volumen	4494 L
Diámetro	1800 mm
Altura	2385 mm
Presión máxima	2,5 bar
Tiempo de contacto	Aprox. 2min
Conexión	DN 200
Salida purgador	1"



CILLIT PURGADOR INOX



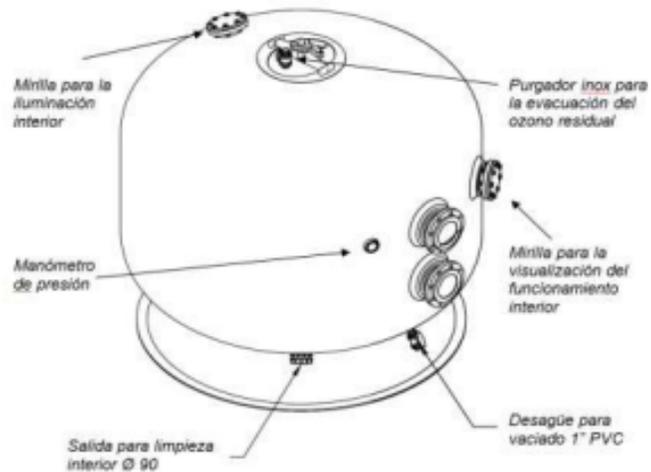
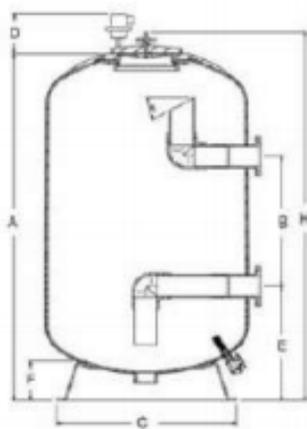
MIRILLA 150



BOCA DE HOMBRE CIRCULAR

## MEDIDAS

CILLIT TC		4500-200
A	mm	2200
B	mm	820
C	mm	1630
D	mm	185
E	mm	810
F	mm	300
G	mm	2327



La presente información técnica tiene en cuenta la experiencia de la sociedad y se aplica para un uso normal del producto, según descrito en el presente documento; otro tipo de aplicaciones deben autorizarse particularmente. En casos muy concretos y difíciles es necesario establecer un acuerdo con nuestro Servicio de Asistencia Técnica que cubre todo el territorio nacional con el fin de poder controlar los resultados y aprobar las posibles correcciones. CILLIT se reserva el derecho a cualquier modificación de sus propios productos. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta documentación que es propiedad de la Sociedad.

**CILLIT S.A**

Silici 71-73 - 08940 Cornellá de Llobregat - ESPAÑA

Tel: 93-474.04.94 - Fax: 93-474.47.30

E-mail: [cilit@cilit.com](mailto:cilit@cilit.com) - Web: [www.cilit.com](http://www.cilit.com)



### CILLIT MHO 25 - 700

Para la mezcla del agua de proceso con el ozono

Modelo: CILIT-Sistema de mezcla agua-ozono MHO 25 - MHO 700



- Máximo efecto de mezcla del ozono con agua de proceso con mínimo gasto energético
- Disolución real y rápida del ozono en el agua proporcionando una rápida y segura desinfección.
- Su funcionamiento en vacío impide posibles fugas de ozono.
- Máxima seguridad contra la entrada de agua al generador de ozono por retroceso o condensación.

#### DATOS TÉCNICOS

Generador de OZONO VULW		25	45	70	140	210	280	350	420	490	560	630	700
<b>Bomba elevadora de presión</b>													
Caudal	m <sup>3</sup> /h	3	4,5	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
Altura manométrica	cm	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Potencia motor	kw	0,75	0,75	1,5	2,2	3,0	4,0	5,5	5,5	7,5	7,5	7,5	11,0
Alimentación	V		230/400				400/690						
Conexión aspiración	DN	32	32	32	50	65	65	65	80	80	100	100	100
Conexión descarga	DN	32	32	32	50	65	65	65	80	80	100	100	100
<b>Inyector Ventura</b>													
Conexión entrada	DN	25	32	40	50	65	65	65	65	80	80	80	80
Conexión aspiración	DN	20	25	32	40	50	50	50	50	65	65	65	65
Conexión salida	DN	25	32	40	50	65	65	65	65	80	80	80	80
<b>Conductos</b>													
Tubo desde agua recirculante a Bomba P	DN	32	32	40	50	65	80	100	100	125	125	125	150
De Bomba P a Inyector	DN	32	32	40	50	65	80	80	100	100	100	125	125
De Inyector a mezclador	DN	32	32	40	50	65	80	80	80	100	100	125	125
De armario ozono a Inyector	DN	15	15	20	20	25	32	32	32	32	40	40	40
<b>Mezclador estático</b>													
Caudal mínimo	m <sup>3</sup> /h	13	30	42	50	78	155	240	240	240	240	304	304
Caudal máximo	m <sup>3</sup> /h	30	80	100	208	321	406	582	582	582	582	937	937
Conexión	DN	50	50	65	80	150	200	200	250	250	250	300	300
Conexión	DN	65	65	80	100	200	250	250	300	300	300	350	350
Conexión	DN	80	80	100	125	250	300	300	350	350	350	400	400
Conexión	DN		100	125	150			350					
Conexión	DN				200								
Longitud	mm	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200

## CILLIT ELIMINADOR DE OZONO CK2/CK3

Tratamiento para la eliminación del ozono residual

Modelo: CILLIT-DESTRUCTOR DE OZONO CK2 - CK3



- Eliminador de ozono residual, por principio químico catalítico, para la transformación en oxígeno del ozono presente en el aire de los conductos aireación de la torre de contacto.
- El eliminador viene acabado en todas sus partes y listo para la instalación.
- Cuerpo en PVC completo con sus fondos y soportes en acero inoxidable.
- Preparado para sujeción sobre pared. Falso fondo interno, con sistema de distribución y sifón de seguridad.

### APLICACIÓN

Los equipos de eliminación de ozono de la serie CK están especialmente diseñados para la eliminación del ozono residual que contiene el aire húmedo procedente de los desgasificadores situados en las torres de contacto y filtros mediante proceso de intercambio químico-catalítico. La concentración máxima de ozono en el aire admitida es de 4 g/m<sup>3</sup>.

Los eliminadores de ozono por intercambio de la serie CK2-3 no deben ser utilizados con aire seco ni con concentraciones superiores a 4 g/m<sup>3</sup> (Riesgo de explosión).

### FUNCIONAMIENTO

El ozono residual en el aire procedente de la desgasificación de las torres de contacto y filtros intercambia mediante el proceso químico catalítico con carbón activo y oxígeno.

El Aire a la salida en la parte superior del equipo tiene un contenido de ozono inferior a 0,02 mg/m<sup>3</sup> y las pequeñas aportaciones de agua se separan en el vaso situado en la parte inferior del equipo.

### MATERIAL DE FABRICACIÓN

Los equipos de eliminación de ozono de la serie CK2-3 disponen de un depósito cerrado con forma cilíndrica.

En el interior, la parte inferior está equipada con una placa de difusores, sobre la placa se encuentra un lecho de sílex que sirve como soporte para otro lecho compuesto por carbón activo.

Los eliminadores de ozono están equipados con una salida de aire sin ozono en la parte superior que debe ser conducida al exterior y una entrada de aire con ozono y agua en la parte inferior con un vaso con rebosadero conducido al desagüe para la recogida del agua sobrante. Todos los componentes del equipo están fabricados en material PVC.

### INSTALACIÓN

El equipo debe ser instalado en lugar de fácil acceso, protegido contra posibles golpes y cerca de las torres de contacto y filtros.

La colocación de los conductos de desgasificación procedentes de las torres de contacto y filtros deben instalarse en pendiente hacia el eliminador de ozono evitando en todo momento lazos y sifones para evitar acumulaciones de agua.

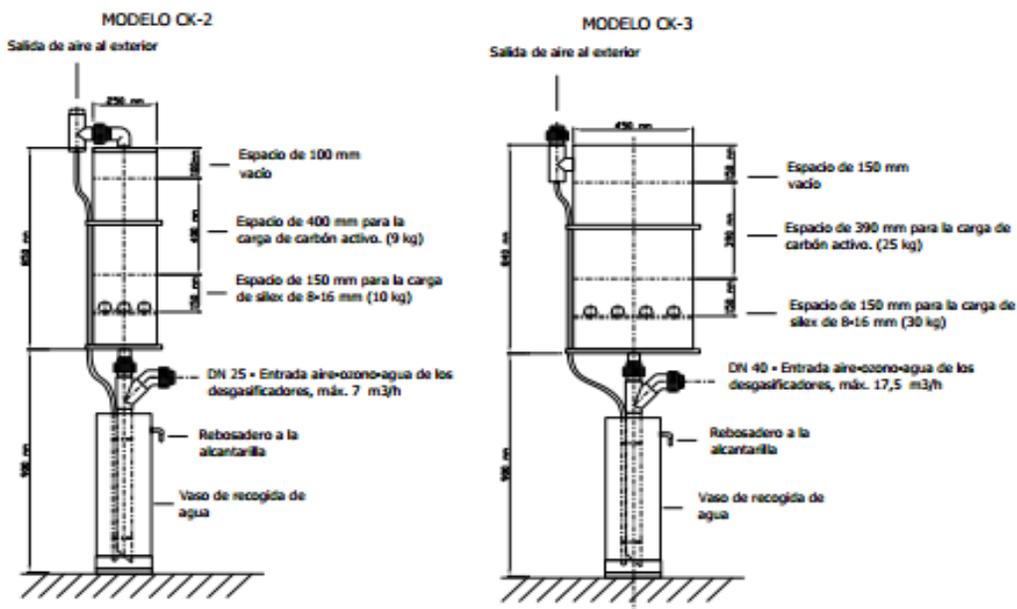
**ANEXO Nº 29. FICHA TECNICA DEL SISTEMA DE ELIMINACION DE OZONO RESIDUAL CILLIT CK-2 (HOJA 2)**

Los conductos de desgasificación deben estar fabricados en acero inoxidable nº 1.4571 o en PVC rígido PN 16. El rebosadero del agua sobrante del vaso inferior debe conducirse a un desagüe. La salida del conducto de aire sin ozono debe ser conducida al exterior, con salida libre, sin riesgo de heladas, lejos de

ventanas, lejos de instalaciones eléctricas, lejos de locales o viviendas habitadas y lejos del paso de personas.

Se recomienda sustituir el carbón activo cada 6 meses. Deben tenerse en cuentas las normativas locales de instalación, las directrices generales y los datos técnicos proporcionados.

**DATOS TECNICOS**



CILLIT ELIMINADOR OZONO RESIDUAL	Ck-2	Ck-3
Diámetro mm	250	450
Altura total mm	1750	1740
Conexiones		
Tubería de ozono (Enlace en PVC)	32	50
Tubería salida aire (Pieza T en PVC)	63	63
Tubería salida agua (Enlace PVC)	32	32
Vaciado (Espiga para manguera)	16	16
Carga máxima (aire con ozono m3/h)	7	17,5

La presente información técnica tiene en cuenta la experiencia de la sociedad y se aplica para un uso normal del producto, según descrito en el presente documento; otro tipo de aplicaciones deben autorizarse particularmente. En casos muy concretos y difíciles es necesario establecer un acuerdo con nuestro Servicio de Asistencia Técnica que cubre todo el territorio nacional con el fin de poder controlar los resultados y aprobar las posibles correcciones. CILLIT se reserva el derecho a cualquier modificación de sus propios productos. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta documentación que es propiedad de la Sociedad.

**CILLIT S.A**  
 Silici 71-73 - 08940 Cornellá de Llobregat - ESPAÑA  
 Tel: 93-474.04.94 - Fax: 93-474.47.30  
 E-mail: cilit@cilit.com - Web: www.cilit.com



**Anexo N° 30. Ficha técnica de las bombas centrífugas que se usaran en el sistema de tratamiento de aguas residuales.**

10073 / BOAC-3/4	
BOMBA CENTRÍFUGA PARA AGUA 3/4 HP	
VER Y COMPARAR OTROS	VER MANUAL
ACCESORIOS	
<a href="#">&gt; ESPECIFICACIONES</a>	
Flujo máximo:	100 L/min
Potencia:	560 W (3/4 HP)
Tensión / Frecuencia:	120V / 60Hz
Corriente:	7.6 A
Velocidad:	3450 rpm
Altura máxima:	28 m
Máxima profundidad:	8 m
Ø Entrada / salida:	1 NPT
Tipo:	Centrífuga
Ciclo de trabajo:	50 min. de trabajo x 20 min. de descanso
Máximo diario:	6 horas
Usos:	Ideal para el abastecimiento de agua en casas, apartamentos y más

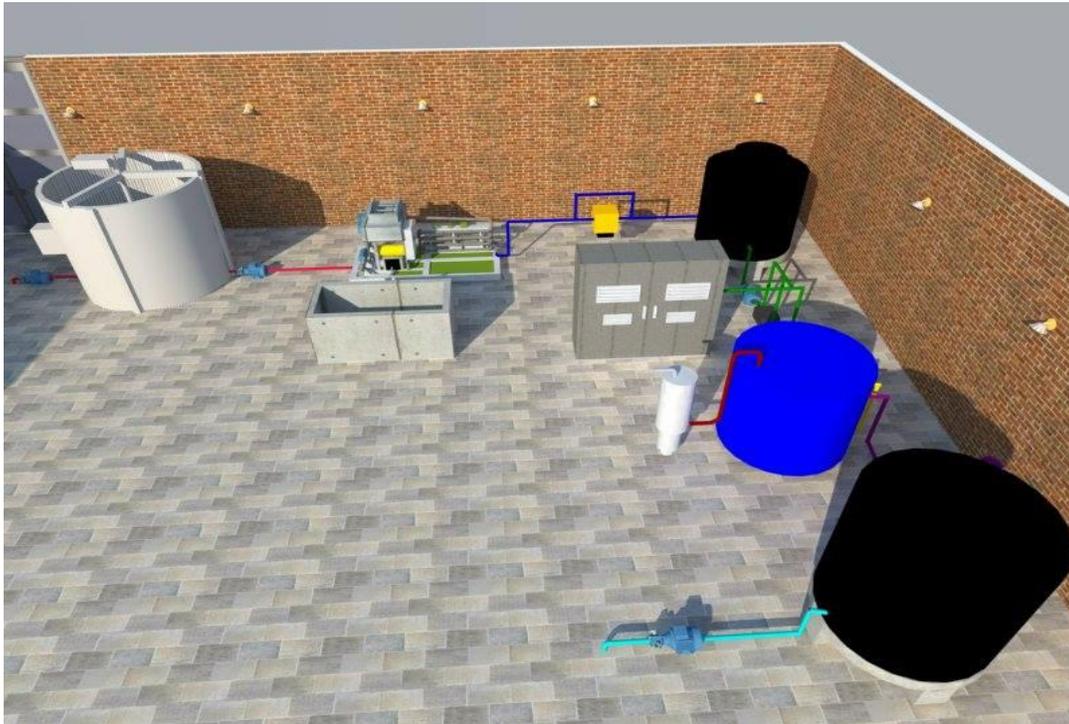
Fuente: TRUPER

**Anexo N° 31. Ficha técnica de las bombas centrífugas que se usaran en el sistema de tratamiento de aguas residuales.**

10074 / BOAC-1			
BOMBA CENTRÍFUGA PARA AGUA 1 HP			
VER Y COMPARAR OTROS	VER MANUAL	ACCESORIOS	
➤ ESPECIFICACIONES			
Flujo máximo:		116 L/min	
Potencia:		746 W (1 HP)	
Tensión / Frecuencia:		120V / 60Hz	
Corriente:		11 A	
Velocidad:		3450 rpm	
Altura máxima:		36 m	
Máxima profundidad:		8 m	
Ø Entrada / salida:		1 NPT	
Tipo:		Centrífuga	
Ciclo de trabajo:		50 min. de trabajo x 20 min. de descanso	
Máximo diario:		6 horas	
Usos:		Ideal para el abastecimiento de agua en casas, apartamentos y más	

**Fuente: TRUPER**

Anexo N° 34. Vista 3D del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto, imagen 01. Software SketchUp 3D.



Anexo N° 35. Vista 3D del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto, imagen 02. Software SketchUp 3D.



Anexo N° 36. Vista 3D del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto, imagen 03. Software SketchUp 3D.



**ANEXO 37. Proyección de ingresos por ventas en la hilandería La Inmaculada S.A.C.**

Periodo		Número de Lotes	Ventas (\$)	Ingresos (\$)
2015	1er Trimestre	579,6455939	231858,2375	161932,74
	2do Trimestre	583,4291188	233371,6475	162989,72
	3er Trimestre	587,23659	234894,636	164053,40
	4to Trimestre	591,0440613	236417,6245	165117,07
2016	1er Trimestre	594,8275862	237931,0345	166174,06
	2do Trimestre	598,6350575	239454,023	167237,73
	3er Trimestre	602,4425287	240977,0115	168301,40
	4to Trimestre	606,2260536	242490,4215	169358,39
2017	1er Trimestre	610,0335249	244013,41	170422,06
	2do Trimestre	613,8170498	245526,8199	171479,05
	3er Trimestre	617,6245211	247049,8084	172542,72
	4to Trimestre	621,4319923	248572,7969	173606,40
2018	1er Trimestre	625,2155172	250086,2069	174663,38
	2do Trimestre	629,0229885	251609,1954	175727,06
	3er Trimestre	632,8304598	253132,1839	176790,73
	4to Trimestre	636,6139847	254645,5939	177847,72

Fuente: Hilandería La Inmaculada S.A.C.

**Anexo Nº 38. Cronograma de pagos para el crédito que se obtendrá para la implementación del STAR.**

**Monto:** 126.000,00 Dólares      **Interés anual:** 7,00% TEA  
**Cuotas:** 48 Mensuales      **Interés Men:** 0,57% TEM  
**Banco:** BCP

Cuotas	Capital	Interés	Importe de Cuota	Saldo	IVA sobre intereses	Importe total a pagar
1	2.292,25	712,42	3.004,67	123.707,75	-	3.004,67
2	2.305,21	699,46	3.004,67	121.402,54	-	3.004,67
3	2.318,25	686,43	3.004,67	119.084,29	-	3.004,67
4	2.331,35	673,32	3.004,67	116.752,94	-	3.004,67
5	2.344,53	660,14	3.004,67	114.408,41	-	3.004,67
6	2.357,79	646,88	3.004,67	112.050,61	-	3.004,67
7	2.371,12	633,55	3.004,67	109.679,49	-	3.004,67
8	2.384,53	620,14	3.004,67	107.294,96	-	3.004,67
9	2.398,01	606,66	3.004,67	104.896,95	-	3.004,67
10	2.411,57	593,10	3.004,67	102.485,38	-	3.004,67
11	2.425,21	579,47	3.004,67	100.060,18	-	3.004,67
12	2.438,92	565,75	3.004,67	97.621,26	-	3.004,67
13	2.452,71	551,96	3.004,67	95.168,55	-	3.004,67
14	2.466,58	538,10	3.004,67	92.701,97	-	3.004,67
15	2.480,52	524,15	3.004,67	90.221,45	-	3.004,67
16	2.494,55	510,13	3.004,67	87.726,90	-	3.004,67
17	2.508,65	496,02	3.004,67	85.218,25	-	3.004,67
18	2.522,84	481,84	3.004,67	82.695,41	-	3.004,67
19	2.537,10	467,57	3.004,67	80.158,31	-	3.004,67
20	2.551,45	453,23	3.004,67	77.606,87	-	3.004,67
21	2.565,87	438,80	3.004,67	75.041,00	-	3.004,67
22	2.580,38	424,29	3.004,67	72.460,61	-	3.004,67
23	2.594,97	409,70	3.004,67	69.865,64	-	3.004,67
24	2.609,64	395,03	3.004,67	67.256,00	-	3.004,67
25	2.624,40	380,28	3.004,67	64.631,60	-	3.004,67
26	2.639,24	365,44	3.004,67	61.992,37	-	3.004,67
27	2.654,16	350,51	3.004,67	59.338,21	-	3.004,67
28	2.669,17	335,51	3.004,67	56.669,04	-	3.004,67
29	2.684,26	320,42	3.004,67	53.984,79	-	3.004,67
30	2.699,44	305,24	3.004,67	51.285,35	-	3.004,67
31	2.714,70	289,97	3.004,67	48.570,65	-	3.004,67
32	2.730,05	274,63	3.004,67	45.840,61	-	3.004,67
33	2.745,48	259,19	3.004,67	43.095,12	-	3.004,67
34	2.761,01	243,67	3.004,67	40.334,12	-	3.004,67
35	2.776,62	228,05	3.004,67	37.557,50	-	3.004,67
36	2.792,32	212,36	3.004,67	34.765,18	-	3.004,67
37	2.808,11	196,57	3.004,67	31.957,07	-	3.004,67
38	2.823,98	180,69	3.004,67	29.133,09	-	3.004,67
39	2.839,95	164,72	3.004,67	26.293,14	-	3.004,67
40	2.856,01	148,67	3.004,67	23.437,13	-	3.004,67
41	2.872,16	132,52	3.004,67	20.564,98	-	3.004,67
42	2.888,40	116,28	3.004,67	17.676,58	-	3.004,67
43	2.904,73	99,95	3.004,67	14.771,86	-	3.004,67
44	2.921,15	83,52	3.004,67	11.850,71	-	3.004,67
45	2.937,67	67,01	3.004,67	8.913,04	-	3.004,67
46	2.954,28	50,40	3.004,67	5.958,76	-	3.004,67
47	2.970,98	33,69	3.004,67	2.987,78	-	3.004,67
48	2.987,78	16,89	3.004,67	-0,00	-	3.004,67

