

## **TRABAJO FINAL INTEGRADOR**

**Especialización en gestión de innovación  
en empresas textiles y de la moda**

**" Tratamiento de aguas residuales textiles por método de  
electrocoagulación"**

**Director de Carrera: Ing. Patricia Marino**

**Tutores: Dr. Claudio Dominighini e Ing. Patricia Marino**

**Alumno: Lic. Marta E. Piasecki**

**Ciudad Autónoma de Buenos Aires**

**AÑO 2023**

## INDICE

1. Introducción	4
2. Objetivo	9
2.1. Objetivos específicos	9
3. Estado actual del conocimiento	9
3.1. Importancia del agua en la industria textil	9
3.2. La huella hídrica en la industria de la moda	12
3.3. Importancia de las aguas subterráneas	14
3.4. Características de las aguas residuales	16
3.4.1. Características de las aguas residuales en diferentes industrias	19
3.4.2. Tratamientos de las aguas residuales	23
3.4.3. Gestión de las aguas residuales	24
3.4.4. Aguas residuales de la industria textil	25
3.4.5. Características de los efluentes textiles	32
4. Evolución de las características del método por electrocoagulación	33
4.1. Evolución de la electrocoagulación	34
4.2. Electrocoagulación para tratamientos de efluentes en la industria textil	36
4.3. Proceso de electrocoagulación	38
4.4. Factores que afectan a la electrocoagulación	41
4.5. Ventajas y desventajas del sistema de electrocoagulación	44
4.5.1. Ventajas	44
4.5.2. Desventajas	46
5. Tendencias futuras	47
5.1. Textil argentina que implementará sistema de electrocoagulación	48
5.2. Proyecto de implementación de Textil Ibera SA para tratar sus efluentes con electrocoagulación Detalle del equipo de electrocoagulación	53

5.3. Equipamiento certificado	56
5.3.1. Características del equipo de electrocoagulación	58
5.3.2. Análisis de laboratorio	59
5.3.3. Proceso de electrocoagulación	60
5.3.4. Objetivos a lograr con el sistema de electrocoagulación	63
6. Conclusiones	65
7. Referencias	70

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación final integrador tiene como objetivo principal analizar la experiencia de una empresa textil en incorporar una tecnología innovadora para el tratamiento de efluentes y de esta manera analizar la viabilidad tecnológica del proceso de electrocoagulación como alternativa para el tratamiento de dichos líquidos en la industria textil de tejido de punto del proceso de teñido, con el fin de obtener aguas residuales en las condiciones que permitan su reúso o vertimiento de acuerdo a las exigencias de la legislación vigente.

Uno de los desafíos mayores que enfrenta hoy la humanidad es proporcionar agua limpia a una inmensa mayoría de la población mundial.

Un problema ambiental lo constituyen los compuestos orgánicos refractarios como los colorantes, que interfieren en los procesos fotosintéticos que realizan los organismos en cuerpos hídricos. Estos contaminantes se encuentran presentes en las aguas residuales de industrias como la textil, lavandería, papelera, curtiembre, farmacéutica, entre otros, cuyos procesos generan grandes volúmenes de aguas residuales y plantas de producción de agua para el consumo humano entre otras.

La electrocoagulación, una tecnología conocida desde principios del siglo XX, ha evolucionado, siendo eficazmente aplicada en la actualidad para el tratamiento de las aguas residuales de la industria.

El objetivo principal del presente proyecto es analizar la tecnología de la electrocoagulación como innovación y aplicación novedosa para el tratamiento de efluentes líquidos en una tintorería de la industria textil. El trabajo comienza

describiendo el contexto desde un sentido más amplio, para luego sumergirse en el tratamiento de los mismos con electrocoagulación y sus particularidades.

Un panorama global de la tecnología de la electrocoagulación es desestabilizar los contaminantes, los separa en fases por medio de un proceso electrolítico, para luego ser removidos definitivamente por algún medio mecánico como la decantación y/o el filtrado. Para ello se hace circular corriente eléctrica de baja intensidad por medio de electrodos que se ubican dentro de una cuba electrolítica, donde se estaciona el agua temporalmente para su procesamiento

Para ello se realiza un relevamiento de la información del sector de tintorería de telas e hilado de Textil Ibera SA, empresa dedicada al tejido y teñido de telas de punto en algodón 100% súper peinado bonetería como así algunas mezclas de hilados, con control de las aguas que se tiran en los efluentes. Esta empresa está íntegramente certificada en todos sus procesos por las Normas ISO 9001, comprometida con el medio ambiente desde sus inicios, donde el destino de sus aguas residuales tratadas se tiran a una laguna, ha adquirido recientemente un equipo de electrocoagulación para que devolver a la tierra el insumo utilizado en la forma que fue tomado.

Para este proyecto, primeramente se han desarrollado todos los análisis de ensayos de laboratorio en Alemania (origen del equipo adquirido) con buenos resultados realizados sobre muestras de las aguas residuales de los productos químicos y colorantes que van a los efluentes. El equipo ha llegado recientemente a la planta en la provincia de Corrientes y el plantel de mantenimiento como laboratorio, se encuentran trabajando a pleno para la puesta a punto de la maquinaria, capacitación, indicadores a registrar e instructivos para el mejor funcionamiento de esta mejora de tratamiento de sus aguas residuales.

Sería la primera empresa textil argentina en utilizar esta innovación para empezar a ser parte de la economía circular y ser pionera, por los buenos resultados, para que otras empresas textiles sigan alineándose a mejorar el medio ambiente.

**PALABRAS CLAVE:** Electrocoagulación, agua residual, industria textil, tratamiento de efluentes, DBO, DQO, remoción de colorantes.

## 1. Introducción

En los últimos tiempos el mundo vive situaciones climáticas extremas y una de las explicaciones está en el cambio climático. Este fenómeno se debe a la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. La industria, el transporte, los combustibles son actividades humanas que contribuyen con emisiones perjudiciales.

La contaminación del agua es un factor muy importante dentro de la problemática mundial, ya que los contaminantes generados por la actividad industrial y doméstica son acumulados y transportados tanto por las aguas superficiales como por las subterráneas, deteriorando la calidad del recurso hídrico.

Las empresas reconocen que esta situación representará riesgos y oportunidades, las mismas deben evaluar como sus acciones afectarán el medio ambiente, como impactarán en sus negocios nuevas regulaciones como así también como se presentarán nuevas oportunidades en el desarrollo de productos y procesos.

Muchas industrias a nivel global están diseñando procesos reemplazando la economía lineal actual basada en “tomar–hacer-desechar” que se basa en grandes cantidades de materiales y energías baratas de fácil acceso, como así mismo se debe cambiar el modelo de consumo: usar y desechar. Se deben buscar respuestas creativas e innovadoras para el mayor desafío de la época: crear en conjunto un mundo sostenible para nuestra generación y para las venideras. (World Circular Textiles Day, s/f)

Uno de los problemas principales es la cantidad de residuos que genera actualmente la industria textil. En 2017, The Ellen MacArthur Foundation estimó que menos de un 1% de los residuos textiles se reciclaban de verdad. Cada segundo se quema o se deposita en los vertederos un camión entero de ropa y algunas de estas prendas desechadas no se han usado más de 7 veces.

La fundación Luxiders (2023) señaló que los residuos no son el único problema de nuestro sistema lineal, también son los recursos que se utilizan actualmente para fabricar productos textiles. Se necesitan 2.700 litros de agua para producir una sola camiseta de algodón esos mismos litros de agua una persona los utilizaría casi tres años en consumirlo. Y 7.500 litros de agua para cada par de pantalones de jeans, no es solamente eso, sino que además las fibras utilizadas para la prenda llegan consumir

mucha energía durante su producción. Por ejemplo, el poliéster requiere más de 70 millones de barriles de petróleo cada año en los procesos intensivos, siendo hoy una de la fibra más demandada de todas.

La producción mundial de fibras textiles casi se ha triplicado desde 1975, y el 60% de ellas son sintéticas. El lavado de las prendas finales también puede ser perjudicial, ya que añade plástico al ciclo del agua. Y además las aguas son contaminadas por tintes tóxicos vertidos diariamente después del proceso de teñido de las telas. Dentro de la industria textil hay empresas que si realizan tratamientos de efluentes antes de verter las aguas residuales, que luego van a cultivos para la alimentación.

Por ello, es importante el objetivo de la economía textil circular: erradicar los residuos y dejar de usar recursos vírgenes. Aunque existen oportunidades económicas por valor en el sistema circular, se necesitan nuevos modelos de negocio para liberar ese potencial.

El World Circular Textiles Day es un ejemplo de cómo podría ser el futuro del textil circular. Su objetivo es que en 2050 hayamos alcanzado el 100% de circularidad en la industria textil. Para entonces, los productos y las materias primas se mantendrán en continua circulación, eliminando la necesidad de extraer materias primas. Serian cambios positivos y nos acercaríamos a un futuro textil circular próspero.

En este contexto, de acuerdo a la Fundación Elen Mcarthur, el sector textil indumentaria se presenta como el segundo gran contaminador después del de hidrocarburos y transporte.

La mirada crítica sobre este sector apunta no solo a la producción y los materiales que emplea sino también al modelo de negocios y al consumo excesivo que propone a la sociedad. La producción mundial de ropa ha pasado de 50.000 millones de prendas en el año 2.000 a 100.000 millones en 2.015. La industria de la moda arroja 1.200 millones de toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero al año, más que todos los vuelos internacionales y el transporte marítimo combinados, siendo responsable del 5% de las emisiones globales totales. Hilar, tejer y aplicar técnicas de acabado como teñir o dar resistencia y brillo a las telas son procesos intensivos en

energía en los que se utilizan grandes cantidades de agua y productos químicos. (Fundación Elen McArthur, 2017)

Más del 60% de los textiles, así como de la manufactura de la confección, se produce en China e India, países que dependen de centrales eléctricas alimentadas con carbón, lo que aumenta la huella de carbono de cada prenda. El teñido de textiles es el segundo contaminante de agua más grande del mundo. En 2015, la industria de la indumentaria y textil fue responsable del consumo de 79 mil millones de metros cúbicos de agua. A ello se suma el cuidado del producto, que agrega factores críticos: lavar las prendas libera medio millón de toneladas de microfibras al océano cada año, lo que equivale a más de 50 mil millones de botellas de plástico.

Desde el siglo XX, la ropa se ha considerado cada vez más como desechable y la industria se ha globalizado mucho, con prendas que a menudo se diseñan en un país, se fabrican en otro y se venden en todo el mundo a un ritmo cada vez mayor. Esta tendencia se ha acentuado aún más en los últimos 15 años por la creciente demanda de una clase media en crecimiento en todo el mundo, con mayores ingresos disponibles y el surgimiento del fenómeno de la “moda rápida”, que llevó a una duplicación de la producción durante el mismo período.

Ha llegado el momento de hacer la transición hacia un sistema textil que ofrezca mejores resultados económicos, sociales y ambientales. El informe *A new textiles economy: Redesigning fashion's future* (Una nueva economía textil: rediseñando el futuro de la moda) (2017), describe una visión y establece ambiciones y acciones, basadas en los principios de una economía circular, para diseñar impactos negativos y capturar una oportunidad económica al transformar verdaderamente la forma en que se diseña, se vende y se usa la ropa.

Más allá de los loables esfuerzos en curso, se necesita un nuevo sistema para la economía textil y una visión alineada con los principios de la economía circular. En tal modelo, la ropa, la tela y las fibras y el agua que se utiliza vuelven a ingresar a la economía después de su uso y nunca terminan como desperdicio. Lograr una nueva economía textil exigirá niveles de alineación sin precedentes. Se requiere un enfoque de cambio a nivel de sistema que aproveche las oportunidades perdidas por el sistema textil lineal actual.

La industria textil es de las mayores contaminantes del agua en términos de volumen de descarga y características. La preparación para el teñido (uno de los eslabones de la cadena de valor textil) utiliza colorantes en las operaciones de teñido y acabado de las telas que contribuyen a la complejidad total de los efluentes haciendo que de éstos muy difíciles de tratar. Por ello los efluentes de la industria textil contienen color que genera interferencia del paso de luz en los cuerpos receptores de agua generando daños y disturbios en los procesos biológicos, también poseen asistentes de teñido tales como: limpiadores, blanqueadores, ablandadores, ácidos, agentes anti incrustación, gran cantidad de sales, etc., que son en la mayoría de los casos estos agentes biológicos son inhibidores, tóxicos o elementos refractantes lo que genera un impacto eco toxicológico importante en el agua mas los volúmenes de agua hacen de estos efluentes muy difíciles de tratar debido a la complejidad de sus moléculas que dificultan su degradación.

En la actualidad se está comprobando que los procesos fisicoquímicos tales como la electrocoagulación son altamente eficientes para el tratamiento de este tipo de efluentes. Este es un proceso complejo con múltiples mecanismos que opera sinérgicamente para remover contaminantes en el agua. Se basa en la aplicación de una corriente eléctrica que genera coagulantes in situ, iones metálicos en el ánodo e hidroxilos en el cátodo, que al unirse se desestabilizan formando un precipitado capaz de arrastrar por adsorción o precipitación los contaminantes en solución y se caracteriza por una escasa producción de lodo, el nulo requerimiento de químicos y por su fácil operación.

En este trabajo final integrador se presenta una iniciativa innovadora de una empresa argentina del sector textil que posee el proceso de tejeduría, tintorería (de telas como hilado color) y confección. Ya es pionera en ser la primer textil en el país por tener todos sus procesos íntegramente certificados por normas ISO 9001 y que se ha propuesto disminuir el impacto ambiental de sus efluentes del proceso de teñido con un sistema innovador como es la electrocoagulación para el tratamiento de las aguas residuales del sector de tintorería. Ya ha realizado inversiones en reemplazo de equipamiento de teñido con maquinarias de última generación de origen italiano con un ahorro importante en el consumo de agua y reutilización de la misma, como optimización de productos químicos. Con este sistema innovador de tratamiento de sus



efluentes con electrocoagulación, completaría el cuidado del agua, tanto para la reutilización como vertido final.

Entes gubernamentales en Argentina como el Inti (Instituto Nacional de Tecnología Industrial), Conicet (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), Ina (Instituto Nacional del Agua), para nombrar algunos, están sumamente interesados en los resultados reales e in situ del sistema, ya que solo hoy existen ensayos de laboratorio con buenos resultados.

Con esta innovación e inversión, Textil Ibera SA será pionera con el cuidado del medio ambiente y con un bien tanpreciado como el agua.

## **2. Objetivo**

El objetivo general del presente trabajo final integrador es analizar la incorporación de una tecnología innovadora en una tintorería de tejido de punto, como alternativa para el tratamiento de efluentes líquidos convencional con electrocoagulación.

### **2.1. Objetivos específicos**

1. Demostrar los beneficios de la tecnología de electrocoagulación como alternativa para el tratamiento de aguas residuales industriales textiles.
2. Determinar los parámetros de operación del reactor y la eficiencia de remoción de carga contaminante
3. Caracterizar el agua midiendo parámetros como demanda química de oxígeno (DQO), pH, conductividad eléctrica y absorbancia conociendo así el estado en el que se encuentra el efluente a tratar con el fin de obtener un efluente en las mejores condiciones para su vertimiento.

## **3. Estado actual del conocimiento**

### **3.1. La importancia del agua en la industria textil**

El agua oculta es el agua que no se siente ni se percibe en los productos terminados, pero es necesaria en casi todos los pasos de los procesos de producción. La huella hídrica de las empresas textiles y de confección incluye el uso de agua dulce

a lo largo de las fases de la producción de ropa desde los cultivos de algodón u otros materiales, hasta la fabricación y el acabado de las prendas finales. Por lo tanto, el uso del agua debe ser efectivo y eficiente en toda la cadena de valor.

Por ello es importante encontrar formas innovadoras que permitan disminuir los riesgos relacionados con el agua, preservar el recurso y beneficiar al medio ambiente y las comunidades.

Viendo hacia el futuro, seis de cada diez riesgos comerciales a largo plazo están relacionados con el agua, el clima y el costo de la inacción es cinco veces mayor que el costo de la acción. Ahora más que nunca, las empresas necesitan comprender su uso del agua y evaluar las oportunidades para minimizar sus impactos en el agua e implementar soluciones que restauren las cuencas de sus cadenas de suministro. Aunque aún existen obstáculos en torno a la trazabilidad y la falta de datos sobre el agua a lo largo de las cadenas de suministro, la evidencia es clara: la inversión inicial será más rentable que enfrentar un problema mayor a futuro. Las empresas pueden combinar sus impactos positivos para beneficiar los recursos hídricos de los que todos dependemos (Leahy, D., Lauren, R. y Tanner, N., 2022).

La industria textil convierte las fibras naturales o artificiales en hilos aprovechables y de fácil manipulación. Ocupa un lugar importante en todos los países ya que satisface las necesidades de vestido de la población. Además, ha originado un conjunto de nuevas industrias auxiliares que han diversificado las industrias químicas de suministro de productos químicos y materias colorantes.

La industria textil es intensiva en agua. El agua se utiliza para limpiar la materia prima y para los diferentes pasos en el proceso de teñido textil, por ello es responsable de la generación de carga contaminante para el recurso agua. Los procesos de producción de textiles utilizan una gran variedad de productos químicos, que contaminan el agua utilizada en los diferentes procesos de la cadena de valor textil.

Debido a los efectos de la escasez de agua y las regulaciones ambientales más estrictas, el costo de la utilización del agua dulce ha aumentado en todo el mundo. Además, la industria textil se enfrenta a la presión de los reguladores gubernamentales para avanzar hacia la sostenibilidad mediante la reducción del consumo de agua,

mientras que también existen presiones internas para mantener o aumentar los márgenes de ganancia para las partes interesadas.

La contaminación del agua es un factor muy importante dentro de la problemática mundial, ya que los contaminantes generados por la actividad industrial y doméstica son acumulados y transportados tanto por las aguas superficiales como por las subterráneas, deteriorando la calidad del recurso hídrico

El departamento de medio ambiente de la ONU (Organización de las Naciones Unidas) (2019), dio a conocer información clave sobre el fast fashion y la industria textil, indicando que:

- La industria de la moda es la segunda industria con mayor consumo del recurso hídrico a nivel mundial.
- También la más contaminante a nivel mundial, detrás de la industria del crudo.
- Es responsable de 8% a 10% de las emisiones globales de carbono, más que todo el transporte marítimo y los vuelos internacionales combinados.
- La industria textil es responsable del 20% del desperdicio total de agua a nivel global.
- Se requieren 7.500 litros de agua para producir unos jeans.
- El sector del vestido usa 93.000 millones de metros cúbicos de agua cada año, cantidad suficiente para que sobrevivan 5 millones de personas.
- Cada segundo se entierra o quema una cantidad de textiles equivalente a un camión de basura.

Las empresas de esta industria utilizan cantidades variables de agua dependiendo de los procesos específicos que operan en las fábricas, como la tela utilizada, el equipo utilizado y la filosofía de gestión prevaleciente con respecto al uso del agua. El procesamiento de materiales de tela de lana y algodón requiere un mayor consumo de agua que otras subcategorías, como el poliéster o el nylon.

En el proceso de producción del teñido de telas se utilizan diversos elementos químicos, como disolventes, tintes, colorantes, lejía, agentes blanqueadores y metales

pesados. Al finalizar las determinadas etapas de producción, todos estos productos son eliminados con la materia prima más usada el agua, generando así el agua residual.

Los procesos que aportan importantes volúmenes de aguas residuales son el lavado, la tintura, el estampado y finalmente el acabado. Y cada uno de estas procesos el elemento más utilizado donde se disuelven todos los productos químicos, es el agua. Por ello, el teñido es uno de los procesos más cuestionados dentro de la industria textil por su generación de carga contaminante, por los grandes volúmenes de agua empleada en sus procesos y el impacto al medio ambiente. Por ser un proceso netamente húmedo genera una gran cantidad de efluente contaminado por colorantes, auxiliares químicos y sólidos suspendidos. Este tipo de aguas son altamente volubles y variables en su conformación ya que están supeditadas al proceso, maquinarias y la operación que se ejecute. Los enjuagues representan entre el 50 y 60% del total de agua descargada con material contaminante, además de altas temperaturas (Argentina.gob.ar, salud ambiental, 2023)

Las grandes cantidades de aguas residuales generadas por las instalaciones de procesamiento textil crean varios desafíos. Estos problemas incluyen productos químicos de tratamiento, costos operativos o recargos de tratamiento de aguas residuales, costos de eliminación de lodos y consumo de energía.

Estos problemas hacen que el desafío de asignar y administrar eficazmente el agua, con un enfoque en la sostenibilidad y la eficiencia energética, la economía circular sea un componente crítico para las operaciones de procesamiento textil.

Enfrentar estos desafíos con soluciones de tratamiento sostenibles evita que la contaminación del agua ingrese a las cuencas hidrográficas locales, protegiendo así la salud pública y los ecosistemas circundantes (UNESCO, 2022)

### **3.2. Huella hídrica de la industria de la moda**

La huella hídrica de la industria textil y de la moda se debe, en esencia, según Emily Chan (2020) a los procesos de fabricación en donde se incluyen desde los cultivos de algodón y árboles de los que se toma su corteza para hacer telas hasta el tratamiento de los insumos como limpieza y teñido. Es un término que se utiliza para indicar el volumen de agua que se emplea para diversos procesos que se realizan para producir bienes y servicios, ya sea de una persona, comunidad o empresa. Entonces,

la huella hídrica se considera como un medidor ambiental y el cual se puede emplear para conocer casi la totalidad de procesos que hacen uso de este recurso.

El mayor porcentaje de huella hídrica de la industria textil se da en la obtención de la fibra. Para producir un kilo de algodón se necesitan un consumo de más de 10.000 litros de agua. Ese consumo se reduce en el proceso de hilado y tejeduría; sin embargo, es en este momento de la producción de ropa cuando se produce una mayor contaminación del agua, según lo indicado por la afamada revista Vogue (2020)

El concepto de huella hídrica fue introducido por primera vez en el año 2002 por el profesor universitario Arjen Hoekstra, quien en primero lo utilizó para generar un indicador del consumo y uso del agua, ya que la escasez de la misma es una preocupación a nivel global. Esta definición ha tenido ajustes y hoy en día, la huella hídrica es conocida como el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios de un individuo, comunidad o empresa.

El agua es un recurso limitado e irremplazable para la vida en la tierra, y se va acabando rápidamente. Y uno de los responsables de que esto ocurra es la industria de la moda. Esta ha dejado una gran huella hídrica a lo largo del tiempo y ha generado daños ambientales, como la presencia de micro-plásticos en los océanos alrededor del mundo, donde cada año alrededor de medio millón de toneladas de microfibras son liberadas hacia el mar que vienen de la industria textil, según reporta la fundación Ellen MacArthur. (Huguet, M.J., 2020)

Es necesario saber el impacto de huella hídrica en diferentes producciones, como se puede ver en el gráfico publicado por el diario El Día de La Plata publicado del 23 de junio del 2019:



Gráfico de consumo de huella hídrica

Aquí se observa que en la producción textil este indicador es elevado ya que para fabricar una camiseta de algodón de 250 gramos de algodón se precisan 2.500 litros de agua dulce, para un solo pantalón de jeans unos 10.000 litros y un calzado deportivo 4.400 litros.

Saber la huella hídrica de cada producto, empresa, región o planta industrial permite evaluar y mejorar la sostenibilidad de sus actividades implementando medidas más eficientes.

### **3.3. Importancia de las aguas subterráneas**

Las aguas que corren bajo la superficie del suelo son las llamadas aguas subterráneas.

Se forman a partir de las lluvias que logran infiltrarse hacia la profundidad y juntarse con otras que lo hicieron antes, formando cuerpos de agua que corren bajo el suelo. Estas conforman reservas de agua dulce, por lo tanto, si se contamina el suelo, esa contaminación puede llegar a las aguas subterráneas y contaminarlas, dejándolas no aptas para el consumo humano. Las industrias que más dependen de las aguas subterráneas a lo largo de sus cadenas de suministro y procesos son el sector textil, el de alimentos y bebidas (ESTRUCPLAN, 2000).

El informe de la UNESCO sobre el valor del agua (2021), refiere que la demanda mundial de agua proyectada entre 2000 y 2050 muestra un incremento de 400% para la manufactura y de 140% para la generación de energía térmica. Como también se prevé que se duplicarán las extracciones de agua para usos industriales para 2030, alcanzando un porcentaje del 22% a nivel mundial. Y para el 2040 las extracciones de agua para la energía aumentaran menos del 2%, mientras que el consumo de agua se estima que aumentará cerca del 60%.

En los últimos cuatro años se han casi duplicado el número de empresas que reportan tener objetivos de reducción de agua y han aumentado casi el 50% de empresas que reportan mayores extracciones de agua por la expansión de su producción.

Diversos procesos industriales utilizan los recursos de aguas subterráneas cuando las aguas superficiales, son limitadas en cantidad, pero también cuando la

calidad es importante. Las aguas subterráneas suelen estar menos contaminadas que las superficiales y requieren menos tratamiento. Industrias, como la textil y la confección, el cuero, la pasta y el papel tienen un elevado consumo específico de agua. Por ejemplo, el procesamiento en húmedo de 1 kg de tejido de algodón necesita entre 250 y 350 litros de agua. La industria del curtido tiene un uso específico de agua de 170-550 litros por piel. La extracción de agua en la producción de papel para la fabricación de pasta, papel y cartón fue de unos 3 700 millones de m<sup>3</sup>, de los cuales el 90 % procedía de aguas superficiales, y el 8,5 % de fuentes subterráneas.

La industria textil es una gran consumidora de aguas subterráneas. Este sector se abastece de aguas subterráneas para sus diferentes unidades de la instalación de procesamiento en húmedo, por lo que necesita desesperadamente una gestión eficiente del agua. Casi todos los tintes, productos químicos especiales y productos químicos de acabado se aplican a los sustratos textiles a partir de baños de agua/procesos húmedos. Además, la mayoría de los pasos de preparación de los tejidos, como el desencolado, el descrudado, el blanqueo y la mercerización, utilizan sistemas acuosos y aguas subterráneas. Como también luego de ser confeccionadas las prendas hay gran utilización de agua en los lavaderos para darle terminaciones diferentes a las prendas, como los desgastes que se realizan en los pantalones del jean.

Para la recuperación de aguas subterráneas contaminadas se utilizan técnicas eliminando los contaminantes hasta niveles aceptables o convirtiéndolos en productos inocuos. Se emplean tecnologías de tratamiento biológico, químico y físico, y a menudo se utiliza una combinación de tecnologías. Las técnicas de tratamiento biológico incluyen la bioaumentación, la bioventilación, el bioesparcimiento, la biosuperficie y la fitorremediación. Algunas técnicas de tratamiento químico son la inyección de gas de ozono y oxígeno, la precipitación química, la separación por membranas, el intercambio de iones, la absorción de carbono, la oxidación química acuosa y la recuperación mejorada con tensioactivos; otras pueden aplicarse utilizando nanomateriales. Las técnicas de tratamiento físico más comunes son el bombeo y el tratamiento, la aspersión de aire, la extracción de doble fase y las técnicas de membrana como la ósmosis inversa (aguasresiduales.info, 2017).

### 3.4. Características de las aguas residuales

Teniendo en cuenta el informe de Metcalf & E. (1996), las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99% de agua y un 1% de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales y tienen las siguientes características:

- **Temperatura:** por lo general mayor que la temperatura de las aguas no contaminadas, debido a la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. Las temperaturas elevadas pueden dar lugar a un crecimiento indeseable de plantas acuáticas y hongos. Valores superiores a 40°C tienen efectos directos perjudiciales para la vida acuática.
- **Turbidez del agua** es una propiedad óptica que provoca que la luz se disperse y absorba, en lugar de ser transmitida. La dispersión de la luz que atraviesa un líquido es provocada por sólidos suspendidos. A mayor turbidez, mayor será la luz dispersa. La turbidez es un indicador que no da resultados acerca de un contaminante en específico, sin embargo, brinda información valiosa acerca del grado de contaminación general de una muestra de agua.
- **Color:** el color de las aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual es séptica.
- **Olor:** es debido a los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica, sobre todo, a la presencia de ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el del agua residual séptica. La importancia de los olores está en los efectos que producen, cómo detectarlos, caracterizarlos y medirlos.
- **Grasas y aceites:** Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno).



- **PH (hidrogeno):** es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia. El término se encuentra formado por dos letras que las cuales significan: **p**: potencial. **H**: hidrógeno. El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos. Por lo general, el pH óptimo para el crecimiento de los organismos se encuentra entre 6,5 y 7,5. pH: Los valores altos y bajos típicos los efluentes afectan nocivamente el hábitat acuático, así como también las aguas subterráneas. El cambio en el pH puede causar alteraciones en la solubilidad de metales pesados y sus concentraciones.
- **Materia flotante:** es importante porque se acumula en la superficie, es frecuentemente muy visible, está sujeta a transportarse inducida por el viento, puede contener bacterias o virus patógenos asociados con partículas individuales y puede concentrar significativamente metales e hidrocarburos clorados, tal como pesticidas.
- **DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno):** el parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los 5 días (DBO5). Supone esta determinación la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de materia orgánica biodegradable. La medida de la DBO es importante en el tratamiento de aguas residuales y para la gestión técnica de la calidad de agua porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica.
- **DQO (Demanda Química de Oxígeno):** es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente las materias orgánicas presentes en una muestra de agua. Esta oxidación degrada la materia orgánica biodegradable y no biodegradable. Entre la materia orgánica no biodegradable están los pesticidas, insecticidas y herbicidas. Para conocer la cantidad de este tipo de materia orgánica no biodegradables se hace la prueba de la demanda de oxígeno (DQO). Demanda química de oxígeno (DQO) compuesta por químicos orgánicos, colorantes, encolantes, entre otros, pueden tener efectos

tóxicos diversos en la vida acuática Junto con la DBO se puede calcular la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua. Esto se puede lograr restando el valor de la DBO al valor de la DQO.

- **Sólidos totales (suspendidos y sedimentables):** se refieren a pequeñas partículas sólidas que permanecen en suspensión en el agua. La cantidad de éstos van a indicar que tan turbia está el agua y se aplica a las aguas residuales, por lo que tienen un efecto directo en el costo del tratamiento de estas agua. La medición de los sólidos disueltos totales se refiere a sólidos que se hacen presentes una vez que el agua ha sido evaporada y también permanecen en suspensión en el líquido efluente y alimentan la turbidez del agua. Una fracción de ellos puede llegar a sedimentarse en la corriente sobre la que se descarga, produciendo depósitos de lodos que contribuyen al déficit de oxígeno disuelto. Partículas orgánicas suspendidas, inhiben los procesos fotosintéticos que ayudan a la re-aireación natural del sistema acuático.
- **Nitrógeno total:** en la remoción de sólidos, patógenos y materia orgánica, es de especial interés la remoción de nutrientes, principalmente del nitrógeno debido a las consecuencias ambientales y sanitarias de su presencia en el recurso hídrico, como aumento de la acidez, eutrofización y toxicidad de los ecosistemas acuáticos, ya que afectan la sobrevivencia, crecimiento y capacidad reproductiva de algunos animales. Es un nutriente esencial para el crecimiento de protistas (organismos eucariotas considerados por la biología como la primera forma de vida y antecesores de la gran mayoría de especies conocidas) y plantas. El nitrógeno que se encuentra en el agua residual reciente está en forma de urea y materia proteica, donde la descomposición de las bacterias cambia fácilmente estas formas en amoníaco.
- **Fósforo total:** es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en aguas superficiales tienen lugar nocivas proliferaciones incontroladas de algas, es importante limitar la cantidad de compuestos de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertidos de aguas residuales domésticas, industriales, y a través de las escorrentías (escurrimiento a la corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauces naturales o artificiales).

- **Coliformes totales:** es un grupo de bacterias presente alrededor nuestro, donde la mayoría no son un peligro a la salud humana. Sin embargo, estas bacterias no están naturalmente presente en las aguas subterráneas y son un indicador de que más organismos dañinos pueden estar presentes. Este grupo de bacterias encuentran en el suelo, en el agua que ha sido contaminada por el agua superficial. Se miden para estimar la calidad del agua potable en sistemas de distribución y la existencia de focos de re contaminación.
- **Coliformes fecales:** El coliforme fecal y la e-coli son subgrupos dentro del grupo de coliforme total quienes se originan en las heces de animales de sangre caliente. La presencia de e-coli indica que el agua ha sido expuesta a heces y existe un inmediato riesgo a la salud humana.
- **Espuma:** en los procesos de teñido textil se utilizan espumas generadas por la presencia de tensoactivos y detergentes que alteran el hábitat acuático al inhibir la transferencia de oxígeno del aire hacia el agua para disolverse en ella, mecanismo mediante el cual el sistema tiende a suplir el déficit de oxígeno disuelto que tenga.
- **Metales:** varios metales pueden estar disueltos o suspendidos en los efluentes de tintorería. Excesivas concentraciones de ellos pueden ser nocivas para la vida acuática o hacer que peces y plantas acuáticas no sean aptas para consumo humano por la fijación de los metales en ellos.

#### **3.4.1. Características de las aguas residuales en diferentes industrias**

Estas aguas se generan en abundancia debido a la actividad industrial, teniendo en cuenta que existen diversos tipos de ellas y suelen contener ciertas sustancias contaminantes que pueden perjudicar la naturaleza en general. En Lifeder (2020) se toma lo siguiente a modo de ejemplo:

- **La industria del papel y el cartón:** es una de las industrias que más consume agua en sus procesos y al mismo tiempo genera gran cantidad de aguas industriales de desecho. Esta industria consume el 27% del agua industrial de toda la industria. Solo se consume del 5 al 10% del agua utilizada, siendo necesario procesar el resto como agua industrial residual.

- **Industria textil:** Tiene un alto consumo de agua y gran generación de aguas industriales residual y por cada kilo de materia textil se requieren cerca de 200 litros de agua. Por otra parte, el agua industrial residual alcanza altos niveles de contaminación, debido al uso de diversas sustancias químicas.
- **Industria química:** La misma tiene un alto consumo de agua y genera grandes cantidades de aguas industriales residuales. La contaminación de estas aguas es alta y los contaminantes disueltos son altamente tóxicos en la mayoría de los casos.
- **La agroindustria:** Consume cerca del 17% del agua industrial, aunque en algunas áreas como las industrias de bebidas la mayor parte se incorpora al producto final. Dentro de esta rama las aguas industriales residuales varían enormemente dependiendo de la industria específica. Entre otras están la industria cárnica, láctica, de bebidas, conservera y azucarera.
- **Industria farmacéutica:** Las aguas industriales residuales de la industria farmacéutica están causando serios problemas de contaminación. Esto sobre todo en países como la India y China, donde hay escasos controles de los vertidos industriales. En estas aguas industriales se encuentran fármacos, tales como antibióticos, que una vez en el ambiente pueden generar resistencia en cepas de bacterias patógenas.
- **Minería y transformación de metales:** Se consumen grandes cantidades de agua, usándola como impulso hidráulico para desintegrar la roca en búsqueda de minerales. Posteriormente, en la industria del procesamiento de metales se emplea el agua principalmente como refrigerante.
- **Termoeléctricas y plantas nucleares:** En estas industrias generadoras de energía el agua es utilizada como refrigerante, produciendo grandes cantidades de aguas industriales residuales. Estas aguas son altamente contaminantes, pudiendo contener metales pesados e incluso elementos radiactivos.

La composición de las aguas industriales residuales es extremadamente variable, ya que depende de los procesos industriales que las producen. En términos generales tienen un relativamente bajo contenido de materia orgánica y los metales pesados son los principales contaminantes en las aguas industriales residuales.

Se exponen a continuación una tabla con un detalle de las industrias y el contenido que se encuentra en las aguas residuales de sus efluentes que se generan por estos procesos industriales y que, en la mayoría de los casos, son muy contaminantes para el entorno. Es importante saber que hay muchos tipos de aguas, tales como las que se presentan a partir de los propios procesos, aquellas que se utilizan en la limpieza o incluso en los sistemas de refrigeración, entre otras cosas.

La tabla siguiente, diseñada por ONU sobre Desarrollo de los Recursos Hídricos, (2017) hace una interesante descripción de los contenidos típicos de los efluentes:

Industria	Contenido típico de los efluentes
Pulpa y papel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácidos lignosulfónicos clorados, ácidos de resina clorados, fenoles clorados e hidrocarburos clorados. Alrededor de 500 compuestos orgánicos clorados identificados</li> <li>• Compuestos coloreados y halógenos orgánicos absorbibles (AOX)</li> <li>• Contaminantes que se caracterizan por DBO, DQO, sólidos en suspensión (SS), toxicidad y color</li> </ul>
Hierro y acero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua de enfriamiento que contiene amoníaco y cianuro</li> <li>• Productos de gasificación: benceno, naftaleno, antraceno, cianuro, amoníaco, fenoles, cresoles e hidrocarburos aromáticos policíclicos</li> <li>• Aceites hidráulicos, sebo y sólidos en partículas</li> <li>• Agua ácida de enjuague y residuos de ácidos (clorhídrico y sulfúrico)</li> </ul>
Minas y canteras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezcla de partículas de roca</li> <li>• Tensioactivos</li> <li>• Aceites y aceites hidráulicos</li> <li>• Minerales no deseados: i.e., arsénico</li> <li>• Limos con partículas muy finas</li> </ul>
Industria de alimentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos niveles de concentraciones de DBO y SS</li> <li>• DBO y pH variable según la verdura, fruta o carne y la estación</li> <li>• Procesamiento de verduras: partículas altas, algunos compuestos orgánicos disueltos, tensioactivos</li> <li>• Carne: orgánicos fuertes, antibióticos, hormonas de crecimiento, pesticidas e insecticidas</li> <li>• Gastronomía: material orgánico vegetal, sal, saborizantes, materia colorante, ácidos, álcalis, aceite y grasa</li> </ul>
Destilación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DBO, DQO, SS, nitrógeno, fósforo, variable por procesos individuales</li> <li>• Variable de pH debido a agentes de limpieza ácidos y alcalinos</li> <li>• Temperatura alta</li> </ul>
Productos lácteos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Azúcares disueltos, proteínas, grasas y residuos de aditivos</li> <li>• DBO, DQO, SS, nitrógeno, fósforo</li> </ul>
Químicos orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesticidas, productos farmacéuticos, pinturas y tintes, productos petroquímicos, detergentes, plásticos, etc.</li> <li>• Materiales de productos base, subproductos, material de producto en forma soluble o en partículas, agentes de lavado y limpieza, disolventes y productos de valor agregado tales como plastificantes</li> </ul>
Textiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DBO, DQO, metales, sólidos en suspensión, urea, sal, sulfuro, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaOH</li> <li>• Desinfectantes, biocidas, residuos de insecticidas, detergentes, aceites, lubricantes de tejer, acabados para hilar, solventes usados, compuestos antiestáticos, estabilizantes, agentes tensioactivos, auxiliares orgánicos de procesamiento, materiales catiónicos, color</li> <li>• Acidez o alcalinidad alta</li> <li>• Calor, espuma</li> <li>• Materiales tóxicos, residuos de limpieza, tamaño</li> </ul>
Energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción de combustibles fósiles: Contaminación de pozos de petróleo y gas y <i>fracking</i></li> <li>• Agua de calefacción/enfriamiento</li> </ul>

Tabla de contenido de diferentes efluentes por industria

Características de los efluentes líquidos en relación a DBO y DQO de las diferentes industrias:

Industria	Efluente crudo	
	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)
<b>Farmacéutica</b>	3300	5600
<b>Papelera</b>	903	2590
<b>Faena Avícola</b>	1030	1950
<b>Textil</b>	400	960
<b>Algodón sin teñido</b>	380	1100
<b>Alimenticia</b>	3500	7500
<b>Curtiembre</b>	1500	4400
<b>Cárnica Chacinera</b>	830	1390
<b>Bebidas sin alcohol</b>	750	1490
<b>Láctea</b>	2200	3800

Efluentes líquidos: detalle de DBO y DQO

Por ello es precisamente en este contexto donde hay que hablar de los tratamientos específicos para las aguas residuales industriales, sabiendo que, en la actualidad, existen de diferentes tipos, los cuales, deben regirse por la normativa nacional.

Hay dos métodos para enfrentar los problemas relacionados con la contaminación causada por las aguas residuales. El primero implica evitar el uso (cantidad) excesivo y la contaminación del agua en el punto de uso inicial, lo que reduce el volumen global de aguas residuales producidas y las cargas de contaminación que contienen. El segundo método implica la recolección de aguas residuales y la aplicación de niveles adecuados de tratamiento en la etapa final para otros usos o para su descarga en el medio ambiente. Este método incluye establecer normas y niveles de calidad para los flujos de aguas residuales entrantes y las aguas residuales tratadas salientes. En caso de que la prevención y el tratamiento adecuado no sean viables, existen soluciones rentables para reducir los riesgos derivados de la exposición a aguas residuales sin tratar (ONU sobre Desarrollo de los Recursos Hídricos, 2017).

### 3.4.2. Tratamiento de las aguas residuales

Tomando como referencia, el informe de la ONU (2019) sobre desarrollo sostenible, las tecnologías de tratamiento de aguas residuales podrían clasificarse en estos grupos principales:

- **Procesos físicos:** Las operaciones de la unidad física dependen exclusivamente de la separación física de los contaminantes de aguas residuales sin causar un cambio significativo en las características químicas o biológicas del agua tratada.
- **Procesos químicos:** Los procesos químicos se denominan procesos aditivos, ya que requieren la adición de productos químicos para reaccionar con los contaminantes deseados y eliminarlo. La naturaleza aditiva de los procesos químicos los hace menos atractivos en comparación con otros procesos, ya que al aumentar componentes netos disueltos en las aguas residuales hace que sea menos práctico para reutilizar en otras aplicaciones.
- **Procesos biológicos:** Los procesos biológicos unitarios utilizan microorganismos para la biodegradación de contaminantes en aguas residuales, y el objetivo principal de estos procesos es reducir el contenido orgánico y nutriente en las aguas residuales. Las unidades biológicas son generalmente clasificadas en aeróbico, anaeróbico o facultativo dependiendo sobre la disponibilidad de oxígeno disuelto en aguas residuales.
- **Procesos electroquímicos:** Durante las últimas dos décadas, tecnologías electroquímicas de tratamiento de aguas residuales comenzaron a recuperar la importancia como una opción ecológica que genera lodo mínimo, no requiere aditivos químicos y huella mínima sin comprometer la calidad del tratamiento agua.

Una mejor gestión de las aguas residuales, incluida la recuperación, la reutilización segura del agua y otros componentes clave, ofrece muchas oportunidades. Esto es especialmente en el contexto de una economía circular, donde el desarrollo económico se equilibra con la protección de los recursos, la sostenibilidad ambiental, donde una economía más limpia y más sostenible tiene un efecto positivo en la calidad del agua.

La Conferencia de la ONU (2019) (Organización de las Naciones Unidas) sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD: organismo intergubernamental permanente creado por la Asamblea General de las Naciones Unidas) especificó que la industria textil se encuentra en segundo lugar como la más contaminante a nivel mundial y únicamente detrás de la industria del crudo. Los datos proporcionados por la UNCTAD (2019) señalan que la industria textil utiliza anualmente 93.000 millones de metros cúbicos de agua, cantidad capaz de cubrir el consumo de cinco millones de personas, asimismo cada año se arrojan a cuerpos de agua medio millón de toneladas de microfibras provenientes de sus distintos procesos de producción, siendo equiparable a 3 millones de barriles de crudo.

Realizar un correcto tratamiento es la mejor forma de prevenir posibles daños. Es esencial llevar a cabo una gestión del agua apropiada y facilitar un tratamiento óptimo a las aguas residuales. De esta forma, no solo podremos rentabilizar de la mayor forma posible este recurso, sino que, además, se prevendrán posibles perjuicios.

### **3.4.3. Gestión de las aguas residuales**

La reutilización del agua como fuente alternativa y confiable de agua dulce se consolida ante el crecimiento constante de la demanda, según lo indicó La Conferencia de la ONU (2017) sobre Aguas residuales, Recurso desaprovechado.

Hay un cambio de paradigma en la gestión de aguas residuales, la cual pasa de un trámite de eliminación a contemplar la reutilización y recuperación de recursos. Contar con prácticas eficientes de gestión, innovación tecnológica y políticas regulatorias adecuadas permitirá ampliar la gama de oportunidades.

La importancia transversal de las aguas residuales se ve reflejada en la Asamblea General de la ONU donde adoptó para la Agenda 2030 el Desarrollo Sostenible, en el Objetivo de Desarrollo Sostenible dedicado al agua, al saneamiento y proponer reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentar considerablemente el reciclado y la reutilización segura a nivel mundial.

También hay que contar con una mayor aprobación social con respecto a la utilización de aguas residuales, por ello, es importante la educación y capacitación de las nuevas formas de sensibilización para modificar la creencia de que estas aguas conllevan un riesgo para la salud y así ocuparse de las inquietudes socioculturales para



fomentar la aprobación pública. Esto también es positivo desde el punto de vista comercial. Como elementos fundamentales de una economía circular, la utilización de aguas residuales y la recuperación de sus subproductos pueden generar nuevas oportunidades comerciales y así ayudar a recuperar los costos de las instalaciones nuevas, innovadoras y modificadas. De esta forma se podrá recuperar energía, nutrientes y metales, entre otros subproductos.

El siguiente grafico se puede observar el reutilización del agua por finalidad:



Porcentaje de reutilización del agua

#### 3.4.4. Aguas residuales en la industria textil

Desde el grupo de investigación MECABOT (2021), el agua residual de la industria textil es altamente contaminante, sobre todo el agua empleada en procesos de lavado, tintura, estampación y acabado. Para la fabricación de una tonelada de producto textil se consume aproximadamente 200 toneladas (sin considerar el consumo de producción agrícola) de agua y del total de productos químicos utilizados, el 90% es vertido como desecho después de cumplir su misión.

Las características de las aguas residuales son irregulares y variables en su composición, ya dependerán de las operaciones específicas que se realicen, principalmente del tipo de fibra tratada y de la maquinaria utilizada. A pesar de la gran variedad de procesos y de productos químicos utilizados, las aguas residuales

producidas en la industria de fibras naturales presentan unas características comunes, a excepción de los procedentes del lavado de la lana.

Los efluentes de fibras naturales se caracterizan por una gran variabilidad de caudal y de carga contaminante, así como un bajo contenido de materias en suspensión y coloidales. Generalmente son coloreadas, su carga orgánica media es aproximadamente el doble que el de un agua residual urbana y no acostumbra a contener productos tóxicos ni microorganismos patógenos. Además, acostumbran a ser deficientes en nutrientes, principalmente en nitrógeno.

Además, las aguas residuales textiles se caracterizan por tener pH que varía de acuerdo con el proceso, altos valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), altos niveles de color, turbiedad, una alta concentración de sólidos suspendidos y descargas a alta temperatura. Los vertidos generados en este proceso son más abundantes en la etapa de lavado y aclarado, sobre todo si son tonos o colores muy intensos.

El grado de contaminación y volumen de vertido depende de varios factores:

- Tipo de baño o relación de baño, es decir, cuantos litros de agua se precisa por kilo de textil para teñir.
- Grado de fijación del colorante.
- Tendencia a usar colorantes con una mayor reactividad para ser más eficiente el proceso disminuyendo colorante hidrolizado, que termina en el efluente, además estos colorantes requieren cantidades menores de electrolito, menos número de enjuagues, siendo una ventaja adicional y determinante.
- Colorantes insolubles en agua la gama se extiende a los de tipo disperso, sulfuroso y tina.

Dentro del sector textil, se encuentran dos grupos bien diferenciados de empresas según el curso receptor de sus vertidos, según el análisis realizado por el INTI en Gestión de Efluentes de la Industria Textil (2015).

- Empresas que vierten sus aguas residuales a una red cloacal.

- Empresas que vierten a un curso de agua, debiendo cumplir con límites de vertido y de esta manera genérica acostumbran a ser más restrictivos que los límites de vertido a red cloacal.

En Argentina las fábricas, por lo general, descargan sus aguas residuales a colectores cloacales tienen unos límites de vertido que están en torno a 750 mg O<sub>2</sub> /l de DQO y 200 mg O<sub>2</sub> /l de DBO. Las aguas residuales textiles son moderadamente biodegradables, de forma que la depuración conjunta con aguas residuales urbanas en una estación depuradora de aguas residuales de tratamiento biológico proporciona buenos resultados si predomina el caudal de las aguas urbanas. Por el contrario, las fábricas que vierten a curso de agua, ya sea cauce natural o colector pluvial, deben cumplir con unos límites que en Argentina son por lo general de 250 mg O<sub>2</sub> /l de DQO y 50 mg O<sub>2</sub> /l de DBO. Estas industrias en muchos casos deben disponer de su propia depuradora de aguas residuales para cumplir con la legislación.

Independientemente de la localización del vertido, una misma empresa puede llevar a cabo diferentes operaciones de acabado que darán lugar a aguas residuales muy variantes en su caudal y composición. Esta variación dificulta su depuración posterior. Por este motivo es conveniente recoger y retener los efluentes procedentes de los diferentes procesos en un gran depósito de homogeneización donde se amortigua el efecto predominante de un efluente concreto.

Hay mejoras tecnológicas y sustituciones de productos que permiten optimizar el proceso productivo desde un punto de vista ambiental como los siguientes ítems:

- Reducción de la relación de baño.
- Reducción de productos auxiliares, por ejemplo retardadores, carriers.
- Eliminación de productos órgano halogenados (sustancias químicas orgánicas que contienen uno o varios átomos de un elemento halógeno (generalmente cloro, aunque existen compuestos formados con bromo e yodo).
- Utilización de colorantes de elevado agotamiento.
- Blanqueo con peróxidos en lugar de derivados del cloro.

- Neutralización con CO<sub>2</sub> en procesos a la continua.
- Sustitución del ácido acético por ácido fórmico.
- Sustitución de la urea en la estampación con colorantes reactivos.
- Menor número de lavados, fórmulas de lavado, eliminación de lavados por rebose.
- Reciclado de baños de tintura.
- Reciclado de baños poco contaminados (aguas de aclarado).
- Reutilización de materias primas: productos de encolado, colorante índigo, recuperación de NaOH (hidróxido de sodio , hidróxido sódico o hidrato de sodio, también conocido como soda cáustica ) en el mercerizado, recuperación de pastas de estampación.

Se pueden implementar algunas medidas de control del agua:

- Mantener limpias las áreas de producción para evitar lavados innecesarios.
- Minimizar las fugas y los derrames.
- Utilizar válvulas de cierre automático en las líneas de agua.
- Instalación de medidores de caudal, general y por sección.
- Utilización de medidores de nivel de líquidos.
- Utilización correcta del agua de refrigeración y calefacción.
- Utilización de equipos de lavado a contracorriente.
- Instalación de reductores de flujo.
- Instalación de controles en línea: pH, conductividad, Temperatura, TOC, etc.
- Programas de formación e incentivos a los empleados.
- Cambios en el proceso productivo y maquinaria.
- Substitución y/o reducción de productos químicos.

- Utilización de sistemas expertos.
- Dosificación informatizada de colorantes y productos auxiliares.

Las aguas residuales textiles generadas en los procesos de tintura y acabados, presentan las siguientes características:

- Variabilidad de caudal y carga contaminante.
- Bajo contenido de materia coloidal y en suspensión.
- La mayor parte de contaminantes son solubles y moderadamente biodegradables.
- Su carga orgánica media (DQO) es aproximadamente el doble que la de un efluente urbano.
- Su toxicidad es baja comparada con otros sectores industriales.
- A menudo son deficitarias en nutrientes.
- Exentas de microorganismos patógenos.
- Sus principales características específicas son su elevada coloración y salinidad.

En los efluentes textiles se pueden encontrar sales, almidón, peróxidos, EDTA (ácido etilendiaminotetraacético que se usa para evitar que los iones metálicos alteren los colores de los textiles teñidos), tensoactivos, enzimas, colorantes, metales y otros compuestos orgánicos de variada estructura, que provienen de las distintas etapas del proceso global.

En general, las corrientes de agua de descarga provienen principalmente del desengomado (15 %), descrude y mercerizado (20 %) y del blanqueo, teñido y lavado (65 %).

El mayor aporte de la carga orgánica proviene de la etapa del desengomado que aporta alrededor de 50 % del total de DBO.

La cantidad de agua empleada en los procesos textiles varía en forma considerable, dependiendo del proceso específico y del equipamiento utilizado por la

planta. Por ejemplo, en el teñido con colorantes dispersos, se utilizan entre 100 y 150 litros de agua por kilogramo de producto. Si se utilizan colorantes reactivos, las cifras varían entre 125 y 170 litros por kilogramo de producto.

Los procesos de la industria textil no liberan grandes cantidades de metales; sin embargo, aun las pequeñas concentraciones involucradas pueden producir acumulación en los tejidos de animales acuáticos. Muchas veces los efectos se observan a largo plazo, y en la mayoría de los casos son difíciles y costosos de tratar. Las descargas también pueden aumentar la población de peces y algas debido a su alto contenido de nitrógeno, y agotar en el largo plazo el contenido del oxígeno disuelto en el agua.

Los colorantes textiles tienen gran persistencia en el ambiente, y los métodos de eliminación clásicos no son útiles debido a que oxidaciones o reducciones parciales pueden generar productos secundarios altamente tóxicos. Una gran proporción de los colorantes no son directamente tóxicos para los organismos vivos; sin embargo, la fuerte coloración que imparten a los medios de descarga puede llegar a suprimir los procesos fotosintéticos en los cursos de agua, por lo que su presencia debe ser controlada.

En general, las moléculas de los colorantes utilizados en la actualidad son de estructuras muy variadas y complejas. La mayoría de ellos son de origen sintético, muy solubles en agua, altamente resistentes a la acción de agentes químicos y poco biodegradables. Alrededor del 60 % de los colorantes en uso en la industria textil actual son colorantes reactivos, que se caracterizan por formar una unión éter con la fibra, lo que garantiza una mayor duración del color en el tejido. Sus estructuras frecuentemente contienen grupos azo (grupos que contienen átomos de carbono, y los átomos de nitrógeno están unidos por un enlace doble), antraquinona (compuesto orgánico aromático que se produce de forma natural en ciertas plantas, hongos e insectos, que contribuye a la pigmento colorante de tales organismos, el compuesto se utiliza comercialmente para la fabricación de tintes) o ftalocianina (un compuesto de color verde azulado formado por la unión de cuatro grupos isoindol mediante cuatro átomos de nitrógeno). Dadas sus características de solubilidad y estabilidad, los métodos tradicionales de floculación, sedimentación o adsorción no son útiles en la remoción de estos compuestos.

Los tratamientos biológicos de los efluentes líquidos de la industria textil incluyen básicamente tratamientos aeróbicos y anaeróbicos que pueden ser precedidos por una o más etapas de tratamiento primario, como sedimentación, tamizado, coagulación, ecualización, neutralización, o cualquier otro tratamiento fisicoquímico avanzado, como ultrafiltración o adsorción sobre carbón activado y electrocoagulación.

La eficiencia del tratamiento biológico para la remoción de la DQO depende fuertemente de la relación DBO5/DQO. El valor medio de esta razón en un efluente de la industria textil es de alrededor de 0.35, lo que hace difícil la eliminación total de la DQO. Es conveniente llevar esta razón a un valor no menor que 0.6 para lograr una biodegradabilidad. En una revisión exhaustiva sobre la biodegradación de colorantes textiles, se demostró que la mayoría de los colorantes no muestran una biodegradación significativa en medios aeróbicos y que la desaparición del color del efluente se atribuye principalmente a la adsorción de las moléculas intactas de colorante en el lodo.

Muchos de los productos de biodegradación de los colorantes pueden constituir una fuente de sustancias tóxicas a través de sus productos de degradación, tales como las aminas aromáticas. En consecuencia, el empleo de tecnología avanzada de pre o post tratamiento biológico puede constituir una alternativa viable para la remoción de los colorantes disueltos en un efluente textil.

Los efluentes pertenecientes a la industria textil presentan altas concentraciones de colorantes, metales pesados y compuestos químicos usados en los distintivos procesos de producción, además de ello los valores como la DQO (Demanda Química de Oxígeno), DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), turbidez, conductividad, se ven alterados drásticamente. Aunque todos los valores y características de este tipo de aguas residuales están supeditadas al volumen total del efluente. Este es el principal motivo por el que el vertimiento de este tipo de aguas a los cuerpos de agua, sin el tratamiento necesario, representa un peligro para la calidad del recurso hídrico y la salud pública.

Es por ello, que nació la necesidad de ahondar en el descubrimiento de innovadoras tecnologías que destaquen por ser ecoamigables y que supongan una cantidad menor en su coste de operacionalización como lo es la electrocoagulación, demostrando ser una alternativa de tratamiento eficaz para la eliminación de los contaminantes mencionados con anterioridad.

### 3.4.5. Características de los efluentes textiles

Según el análisis realizado por el INTI en Gestión de Efluentes de la Industria Textil (2015), las aguas residuales generadas en los procesos de tintura y acabados textiles presentan las siguientes características:

- Gran variabilidad de caudal y carga contaminante.
- Bajo contenido de materia coloidal y en suspensión.
- La mayor parte de contaminantes son solubles y moderadamente biodegradables.
- Demanda química de oxígeno media (DQO) es aproximadamente el doble que la de un efluente urbano.
- Su toxicidad es baja comparada con otros sectores industriales.
- A menudo son deficitarias en nutrientes.
- Exentas de microorganismos patógenos.
- Sus principales características específicas son su elevada coloración y salinidad.
- Compuestos orgánicos/inorgánicos no biodegradables como metales, fenoles, colorantes, pesticidas y fosfatos y ciertos surfactantes.
- Alta concentración de sólidos suspendidos totales y colorantes.
- Demanda biológica de oxígeno (DBO).
- Niveles elevados de sólidos disueltos totales (TDS).
- Un pH muy variable, valores en rango de 5 – 12.
- Elevados niveles de temperaturas.

Se observa en la siguiente tabla la carga contaminante de las aguas residuales procedentes de diferentes sectores textiles:



PARÁMETRO	FLOCA	HILO	TEJIDO ALGODÓN	TEJIDO LANA	GENERO PUNTO	ESTAMPACIÓN	LAVADO LANA
pH	7-12	7-11	8-13	5,5-8	5,5-9	7-10	8-11
DQO (mgO <sub>2</sub> /l)	3000-7000	500-1000	1500-3000	300-1500	800-1800	2000-4000	20000-60000
DBO (mgO <sub>2</sub> /l)	1000-2200	200-350	400-1000	100-600	250-500	500-1500	6000-20000
MES (mg/l)	100-300	50-150	100-300	100-200	100-200	200-600	6000-20000
Volumen/peso (l/Kg)	10-20	40-80	100-200	70-300	80-150	-	5-20
COLOR (Pt-Co/l)	400-4000	400-1000	400-3000	200-1500	200-2000	1000-6000	100-200

Tabla de carga contaminante de las aguas residuales procedentes de diferentes sectores textiles

Las características enumeradas anteriormente y otros contaminantes potenciales pueden presentar problemas para las instalaciones que utilizan métodos convencionales de tratamiento primario para el tratamiento de aguas residuales, porque presentan desafíos para las instalaciones municipales de tratamiento de aguas residuales, ya que estas instalaciones generalmente no están equipadas para tratar estos contaminantes de manera eficiente.

La utilización de un nuevo enfoque mediante el uso de soluciones avanzadas de tratamiento de agua primario y secundario es necesaria para enfrentar los desafíos que enfrenta la industria textil ahora y en el futuro.

#### 4. Electrocoagulación

La electrocoagulación es una de las soluciones emergentes de tratamiento de agua capaces de manejar las diferentes características de aguas residuales de los efluentes de la industria textil. Esta tecnología emplea las ventajas y funciones de la flotación convencional, la coagulación y la electroquímica en el tratamiento de aguas y aguas residuales para optimizar la eliminación de contaminantes de una manera ambientalmente sostenible y rentable.

Siguiendo la postura de Nicolas Nik (2016) en Wastewater Digest, esta solución brinda a las empresas sistemas de tratamiento de aguas residuales nuevos y existentes la oportunidad de optimizar su proceso de tratamiento actual al agregar

confiabilidad, reducir los costos de operación, mantenimiento y eliminación de lodos, y mitigar las preocupaciones ambientales relacionadas con la eliminación de lodos sólidos tóxicos no biodegradables.

Las soluciones de tratamiento de agua de electrocoagulación pueden ser útiles en varios aspectos:

- En el pre-tratamiento primario para eliminar o reducir los compuestos tóxicos no biodegradables y el color antes de un proceso biológico.
- Como un pre-tratamiento para contaminantes específicos, como compuestos orgánicos coloidales, minerales o contaminantes microbiológicos antes de los sistemas de ultrafiltración o desalinización por ósmosis inversa.

Las soluciones de tratamiento de aguas residuales por electrocoagulación pueden eliminar o reducir los costos químicos y reducir los costos de eliminación de lodos y los gastos de consumibles para equipos de tratamiento secundarios y / o terciarios.

La electrocoagulación es un proceso físico-químico en el que se emplea diferencia en el potencial eléctrico entre las varillas metálicas (electrodos), ocasionando la oxidación electrolítica del ánodo (electrodo de sacrificio), formando así iones metálicos que posteriormente reaccionan con el agua originando hidróxido metálico y ejerciendo como coagulante. Este proceso afecta las especies iónicas desestabilizándolas y conglomerándolas, pudiendo ser eliminadas con mayor facilidad de las aguas residuales.

#### **4.1. Evolución de la electrocoagulación**

Uno de los desafíos mayores que enfrenta hoy la humanidad es proporcionar agua limpia a una inmensa mayoría de la población mundial. Por ello, hay una necesidad urgente de desarrollar técnicas innovadoras, más eficaces y económicas para el tratamiento de aguas residuales (Arango Ruiz, A., 2005).

La electrocoagulación es una tecnología conocida desde principios del siglo XX que ha evolucionado, siendo eficazmente aplicada en la actualidad para el tratamiento de las aguas residuales de la industria del papel, la minería y la industria de metales pesados. Además, se ha aplicado para tratar agua que contiene la pérdida de alimentos, grasas, tintes, partículas suspendidas, entre otros (Arango Ruiz, A., 2005).

Desde esta perspectiva, la electrocoagulación se convierte en un proceso electroquímico que puede tener resultados exitosos en su aplicación, optimizando los factores que lo conforman, alcanzando el reto de proteger, conservar y recuperar el recurso hídrico.

La electrocoagulación ha sido una tecnología emergente desde 1906, con la primera patente concedida en Estados Unidos. Problemas de tipo financiero o de regulación de incentivos generaron tropiezos para que la industria adoptara esta técnica, tal como lo describe Arango Ruiz (2015) en un artículo de la fundación Estrucplan.

Desde el siglo XIX, exactamente en 1888, se efectuó el primer ensayo reportado en Londres por Webster, este proceso utilizaba ánodos de hierro soluble, con una caída de potencial de 1.8 vatios entre los electrodos, distantes una pulgada, y una corriente anódica de 0.6 Amp/pie.

En 1893, Wolff electrolizó una solución concentrada de sal para producir cloro y soda cáustica, que utilizaba para esterilizar aguas negras en Brewster, NY.

En 1896 se usó en Louisville, Kentucky, una modificación del proceso de Webster para coagular agua cenagosa del río Ohio, proceso en el que se utilizó ánodos de hierro y aluminio, los cuales fueron efectivos en coagular el agua, pero sin una reducción importante en el oxígeno consumido.

En 1908 el proceso Webster se utilizó en Santa Mónica, con reducciones de 40% de materia orgánica.

Bull en 1911 electrolizó una salmuera con ánodo de grafito interponiendo una membrana de asbesto entre los electrodos. Una modificación del proceso Webster, llamado Landreth, se utilizó en 1914 en Nueva York, en éste se añade cal para mejorar la conductividad del electrolito.

En 1914 se utilizó en New York una modificación del proceso Webster llamado Landreth. En éste se añade cal para mejorar la conductividad del electrolito.

En 1932 fue utilizada la electrocoagulación en Alemania, con eficiencias del 50% en reducción de la DBO de aguas residuales. La falla de estos procesos se dio por el alto costo de la energía y la necesidad de recambiar los electrodos.

En 1947, en URSS, se utilizó el proceso con electrodos de hierro para formar hidróxido ferroso, obteniendo remociones de 70% al 80% de DBO.

Unos años más tarde, en 1958, el profesor Mendía, de la Universidad de Nápoles, utilizó esta técnica para desinfectar las aguas negras de ciudades costeras. En este proceso se mezcló 25% al 30% en volumen de agua de mar antes de la electrólisis. En Noruega, Föyn combinó 20% de agua de mar con las aguas residuales en la electrólisis para la remoción de fosfato, utilizando electrodos de carbón. Aunque la eficiencia del proceso fue buena, hubo problemas de corrosión.

Durante las dos últimas décadas, continúa Arango Ruiz (2015), se han reportado trabajos en donde se utiliza el proceso para remover partículas dispersas de aceite, grasa y petróleo en el tratamiento de aguas residuales provenientes de procesos de electroplateado, textiles y en procesos de potabilización del agua misma, entre otros

En 1971, en Vancouver del Norte, se utilizaron ánodos de aluminio para disolverlos y coagular aguas negras.

Este proceso operó a un costo ligeramente inferior al requerido con alumbre.

#### **4.2. Electrocoagulación para tratamiento de efluentes en la industria textil**

En el informe de CONICET, a cargo del investigador Jorge Martín Meichtry (2022), refiere que la industria textil consume agua durante sus operaciones de teñido y lavado, y sus vertidos se caracterizan por ser difíciles de oxidar, por la presencia de colorantes sintéticos, estos son refractarios y tóxicos para los procesos biológicos de tratamiento de efluentes.

Para reducir el impacto ambiental de la industria textil se reutiliza el agua a partir de un tratamiento adecuado del efluente y una economía circular de este insumo.

Los colorantes orgánicos son sustancias con numerosas aplicaciones industriales, el destino principal de las 800.000 toneladas producidas anualmente a nivel mundial, es la industria textil, de las cuales 10 a 15% terminan formando parte de sus efluentes, lo que representa un grave problema ambiental debido a su toxicidad, al impacto visual que generan aún niveles traza y a la baja eficiencia de los tratamientos convencionales para su remoción.

Desde hace algunos años, se ha evaluado la aplicación de métodos electroquímicos para el tratamiento de aguas residuales debido a su versatilidad, eficiencia energética y posibilidad de automatización. Dentro de estos procesos

electroquímicos se encuentra la electrocoagulación (EC) con electrodos de sacrificio, que permite remover colorantes principalmente por atracción electrostática que posibilita la remoción de colorantes por oxidación con especies reactivas. Según estudios realizados por el Conicet (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) y presentados en varios congresos, dicho organismo analizó y explicó que el sistema de tratamiento de efluentes con esta técnica de innovación en la industria textil de algodón, en laboratorio obtuvo muy buenos resultados (De Seta, G.E.; Meichtry, J.M., Angulo A., Golubickas A., Sanchez P.C., Di Fraia, G., Marchisio P.L., Russo A.V., Lan, L.E., Ferrari A., Vullo, M., 2019).

La EC es un proceso que utiliza la electricidad para eliminar contaminantes en el agua que se encuentran suspendidos, disueltos o emulsificados. La técnica consiste en inducir corriente eléctrica en el agua residual a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, dentro de los más comúnmente utilizados están el hierro y el aluminio. La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca las reacciones químicas que desestabilizan las formas en las que los contaminantes se encuentran presentes, produciendo partículas sólidas que son menos coloidales y menos emulsificadas (o solubles) que en estado de equilibrio. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan y/o flotan y se pueden remover fácilmente por algún método de separación de tipo secundario, por lo tanto no requiere utilizar productos químicos dado que se generan in situ, así como largos periodos para que sea posible obtener resultados (Hanel S.H., Duek A., Tagliavini D., Gómez C.E., Reale M., Russian Y., Comellas E. A., Salinas M.B., 2016).

En el proceso de EC hay generación de coagulantes in situ por la disolución de iones de aluminio o de hierro de los electrodos. La generación de iones metálicos tienen lugar en el ánodo y en el cátodo hay liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso las cuales ayudan a la flotación de las partículas floculadas, las mismas que serán retiradas posteriormente. La EC es utilizada en la remoción de contaminantes de muy diversas aguas residuales, tales como las de la industria de galvanoplastia, electro-plateado metálico, fábricas de envasados, industria del papel (desperdicios de molinos de papel), peleterías, molinos de acero, efluentes con contenido de cromo, plomo o mercurio y efluentes con contenido de aceites como los generados por talleres de maquinaria, refinerías, talleres de reparación de autos, transporte, almacenamiento

y distribución de aceites, efluentes de la industria alimentaria, lavanderías e industria textil, y finalmente ha sido utilizada en la remoción de los contaminantes de las aguas para consumo humano y residuales domésticas (Hanela S.H., Duek A et..all, 2016).

Es un tratamiento eficiente para la remoción de colorantes textiles de aguas residuales, ya que se logra una remoción de color del 99.75% en 1 minuto usando una corriente de 1 A y pH de 4. El tratamiento de EC puede ser considerado como una alternativa de tratamiento para aguas residuales textiles conteniendo colorantes directos, ya que permite en tiempos cortos eliminar el color y reducir la DQO (Hanela S.H., Duek A et..all, 2016).

### **4.3. Proceso de electrocoagulación**

La EC es una técnica utilizada para el tratamiento de las aguas residuales. Los contaminantes de muy diversos efluentes son removidos aplicando el principio de coagulación, pero en este caso no se hace uso de un coagulante químico (cuya función es llevada a cabo por corriente eléctrica que es aplicada al medio líquido contaminado).

Siguiendo a Arango Ruiz (2015), este sistema innovador implica varias etapas:

1. Formación de coágulos; se da la corrosión electroquímica del metal producto del paso de corriente eléctrica por el sistema. El metal se desprende en forma de cationes desde la superficie del ánodo de sacrificio, mientras que en la superficie del cátodo se puede dar la hidrólisis del agua, obteniendo como producto iones hidroxilo e hidrogeno gaseoso. Los iones hidroxilos (formados o presentes en el agua residual) reaccionan para formar complejos metálicos de características
2. Desestabilización de contaminantes, partículas suspendidas y rompimiento de la emulsión. Las partículas coloidales se desestabilizan debido a la compresión de su doble capa difusa, este fenómeno se da por la interacción de las partículas con los complejos metálicos formados anteriormente. Estos complejos metálicos también favorecen la neutralización de cargas presentes en el agua residual y la reducción de la repulsión electrostática entre los coloides, dando paso al proceso de coagulación.

3. Coagulación de las fases desestabilizadas para formar flóculos. El proceso de coagulación da paso a la formación de redes que atrapan las partículas coloidales presentes en el agua residual.

Se puede definir la EC como un proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio son utilizadas como electrodo de sacrificio o placa consumible que aporta iones al sistema. Estos iones liberados neutralizan las cargas de las partículas desestabilizando los sistemas de suspensión de los contaminantes dando inicio a la coagulación. La distancia entre electrodos juega un papel importante en la potencia de la EC, porque el campo electrostático depende de la distancia entre el ánodo y el cátodo. Una distancia óptima entre los electrodos proporciona la máxima eficiencia de eliminación de contaminantes. La distancia mínima entre electrodos proporciona una baja eficiencia en la eliminación de contaminantes. Cuanto mayor sea la distancia entre electrodos, más lento será el movimiento del generado ion. Debido al movimiento más lento, los iones obtienen tiempo adicional para formar el flóculo requerido para la coagulación de contaminante

La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es la estabilidad de las moléculas contaminantes. Por lo general este estado estable produce partículas sólidas menos coloidales y menos emulsionadas o solubles. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Los iones metálicos se liberan y dispersan en el medio líquido y tienden a formar óxidos metálicos que atraen eléctricamente a los contaminantes que han sido desestabilizados.

Para aumentar la eficiencia de remoción de los iones (partícula cargada eléctricamente obtenida a partir de un átomo o grupo de átomos enlazados químicamente al añadir o eliminar electrones) indeseables, se puede hacer pasar el agua residual a través de una serie de celdas que tienen electrodos compuestos de varios metales. Los parámetros como pH, conductividad y potencial de óxido reducción deben ser ajustados de acuerdo con el tipo de contaminante.

El proceso de EC es muy similar a un tratamiento químico típico de coagulación, pero utilizando energía eléctrica. Ambos procesos tienen por objetivo la

desestabilización de los coloides contenidos en un agua y se diferencian en el modo de adición del reactivo: en coagulación convencional el reactivo se añade como sal y en electrocoagulación se genera a partir de un metal.

Resumiendo, el proceso de tratamiento contempla tres mecanismos, según lo expuesto en Congreso Latinoamericano de Hidráulica (2018):

1. Oxidación del ánodo (en función de los principios de la electroquímica, estos se oxidan, perdiendo electrones ).
2. Desprendimiento de burbujas de gas hidrógeno en el cátodo (es un electrodo que produce la liberación masiva de electrones por efecto del calor. En la mayoría de las válvulas el cátodo se caldea para producir esta emisión termoiónica).
3. Sedimentación (proceso en el que la mayoría de las partículas se asentarán por la gravedad dentro de un tiempo razonable y se removerán) o flocación de flóculos formados (la floculación involucra la agregación de partículas desestabilizadas y la formación de partículas más grandes conocidas como flóculo).

Y cinco variables que intervienen directamente en los resultados de remoción de color y DQO y estos son (DELOS, 2016):

1. Tipo de electrodos: aluminio es más eficiente, logrando resultados superiores en un 66% del tiempo optimo encontrado con la placa de hierro, además de remover 10 puntos porcentuales más de DQO (72%). Sin embargo, el proceso de EC empleando el hierro como electrodo, es una buena alternativa si el objetivo es solo la remoción de color.
2. Densidad de corriente (10, 20, 30 y 40 A/m<sup>2</sup>): proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es la estabilidad de las moléculas contaminantes. Este estado estable produce partículas sólidas menos coloidales y menos emulsionadas o solubles. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Los iones metálicos se liberan y dispersan en el medio líquido y tienden a formar óxidos metálicos que atraen eléctricamente a los contaminantes que han sido desestabilizados.



3. Solución electrolítica (efluente).
4. pH (6.5): el resultado del pH en el tratamiento de agua residual en la electrocoagulación se evidencia en la eficiencia de la corriente, como también en la solubilidad de hidróxidos metales. En la presencia de iones cloruro, la liberación del cloro se ve afectado. Normalmente la eficiencia de la corriente en electrodos de aluminio es más alta, no importa si se encuentra en un medio ácido o alcalino que en neutro. Las características del agua residual a tratar afectan a la eficiencia de la electrocoagulación, sin embargo, se encontró que existe mayor remoción de contaminantes en valores cercanos al pH 7.
5. Tiempo de exposición: El tiempo de electrólisis tiene un efecto significativo en la eficiencia de eliminación de contaminantes del método de coagulación electroquímica. Define la cantidad de coagulante formado y el costo del proceso. Un aumento en el tiempo de electrólisis hasta el nivel óptimo aumenta la eficiencia de eliminación de contaminantes, pero no aumenta más allá del nivel óptimo. El hecho real es que a una densidad de corriente constante la formación de coagulantes aumenta con un aumento en el tiempo de electrólisis que conduce a una mayor eficiencia de eliminación. Mientras que el tiempo de electrólisis óptimo anterior y el aumento de la dosis de coagulante no aumentan la eliminación de contaminantes debido a la presencia de un número suficiente de flóculos. El tiempo de electrólisis tiene un impacto negativo en el costo del tratamiento debido al aumento en el consumo de energía y electrodos en tiempos de electrólisis.

#### **4.4. Factores que afectan a la electrocoagulación**

Dentro de los factores que afectan a la electrocoagulación, QStone EC y Lenntech (2021) señalan:

1. Densidad de corriente: cuando se usa una corriente demasiado grande, hay una transformación de energía eléctrica en energía calórica que calienta el agua. Una densidad de corriente demasiado grande produciría una disminución significativa en la eficacia. La selección de la densidad de corriente podría realizarse teniendo en cuenta otros parámetros de operación como pH y temperatura.

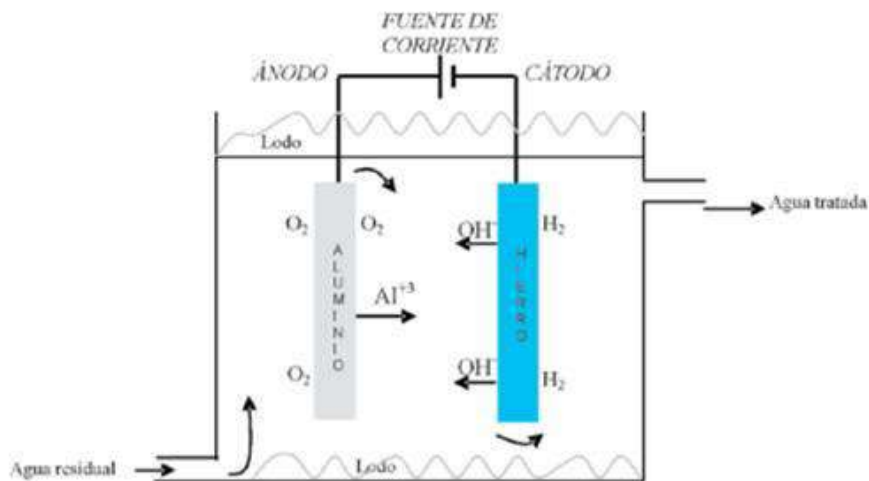
2. La sal aumenta la conductividad del agua residual produciendo una capa insoluble depositada sobre los electrodos, que aumentaría el potencial entre los electrodos decreciendo así la eficiencia de la corriente.
3. pH: El efecto del pH en la electrocoagulación se refleja en la eficiencia de la corriente y se relaciona con la disolución del hidróxido del metal, se ha encontrado que el rendimiento del proceso depende de la naturaleza del contaminante y la mejor remoción se ha observado para valores de pH cercanos a 7.
4. Temperatura: Los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación no han sido muy investigados, pero se ha encontrado que la eficiencia en la corriente incrementa inicialmente hasta llegar a 60° C punto donde se hace máxima, para luego decrecer. El incremento de la eficiencia con la temperatura es atribuida al incremento en la actividad de destrucción de la película de óxido de aluminio de la superficie del electrodo.

Seguidamente se describe el detalle del equipo de EC que consta de:

- Detección y neutralización.
- Reactor EC.
- Tanque de coagulación.
- Unidad de flotación o sedimentación.
- Recipiente de almacenamiento de sal / productos químicos + bombas dosificadoras.
- Inversores que suministran la corriente requerida.
- Filtro prensa externo / sistema de deshidratación.

El proceso de EC es similar a un tratamiento típico químico de coagulación pero utilizando energía eléctrica. Ambos procesos tienen por objetivo la desestabilización de los coloides contenidos en un agua y se diferencian en el modo de adición del reactivo: en coagulación convencional el reactivo se añade como sal y en electrocoagulación se genera a partir de un metal. Es un proceso electroquímico por el cual la materia coloidal presente en una cantidad de agua residual es aglutinada utilizando compuestos resultantes de la disolución de un añadido de tal manera que permite que los coloides se

separen del agua utilizando técnicas convencionales. Debido a su disolución los ánodos se van consumiendo durante el proceso de tratamiento, hasta que llega el momento que deben ser reemplazados. Esto quiere decir que se trata de “ánodos de sacrificio” (Lenntech, 2023).



Esquema de funcionamiento de un equipo de electrocoagulación

Y se puede observar en la siguiente foto de análisis de laboratorio, el antes y después del tratamiento de las aguas residuales:



Eliminación de color en aguas residuales textiles

Una de las áreas de aplicación en las cuales se han desarrollado algunos avances importantes de esta tecnología y que incluso ha tenido mayor implementación de la misma, es el tratamiento de las aguas residuales de lavanderías, tintorerías e

industria textil, obteniendo eficiencias importantes en la remoción de materia orgánica, turbiedad y color.

El tratamiento y la reutilización de aguas residuales textiles es un medio prometedor para conservar y aumentar los recursos hídricos disponibles y reducir la descarga de contaminación nociva en el medio ambiente. Esto se siente especialmente en los países con estrés hídrico en África, Asia y América del Sur, donde la industria textil es de vital importancia para las economías locales.

A medida que las empresas de esta industria avanzan hacia la consecución de objetivos de sostenibilidad para reducir los costos operativos y cumplir con regulaciones cada vez más estrictas, se hace evidente que la reutilización del agua es uno de los componentes clave de estas iniciativas.

Los costos del recargo por eliminación de aguas residuales municipales para las empresas textiles se basan en los niveles de contaminantes constituyentes descargados. La reutilización de esta agua puede proporcionar un retorno significativo de la inversión para los productores textiles, no solo a través de la eliminación de estos recargos por aguas residuales, sino también a través de la reducción del costo de compra de agua dulce.

#### **4.5. Ventajas y desventajas de la electrocoagulación**

Como todo sistema de aplicación de tratamientos de efluentes, éste tiene sus ventajas como desventajas. (Arango Ruiz A., 2005; 2015; Guaman Mendoza, A., Guaman M. Z. y Alvarez Pacheco, C., 2016; Brinergy, 2020).

##### **4.5.1. Ventajas**

- Los costos de operación son menores que los de procesos convencionales pues elimina los requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos.
- Requiere de equipos simples y fáciles de operar, con la suficiente libertad operacional para manejar los problemas encontrados en su funcionamiento.
- Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras.
- Remueve los contaminantes, produciendo agua que se puede reutilizar en el mismo proceso, o en otro uso.

- Genera lodos más compactos y en menor cantidad, que involucra menor problemática de disposición de estos lodos.
- Ausencia de magnesio en los lodos por la no utilización de éste en el proceso.
- Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes.
- Reduce la contaminación en los cuerpos de agua.
- Remueve las partículas coloidales más pequeñas, ya que el campo eléctrico aplicado las pone en movimiento más rápidamente facilitando la coagulación.
- Los contaminantes son arrastrados por las burbujas a la superficie del agua tratada, donde pueden ser removidos con mayor facilidad.
- El proceso de EC evita el uso de agentes químicos, eliminando así el problema de neutralizar el exceso de químicos y por lo tanto la posibilidad de una contaminación secundaria provocada por los mismo.
- Equipo simple sin elementos móviles.
- Buena sedimentación de flóculos formados son similares a los producidos químicamente, pero contienen menos agua ligada, son antiácidos, más estables y pueden ser separados rápidamente por filtración lo que facilita su reciclaje.
- Se eliminan incluso las partículas coloidales más pequeñas, ya que el campo eléctrico aplicado las pone en movimiento más rápidamente facilitando la coagulación, además, las burbujas de gas producidas facilitan la flotación del contaminante hacia la superficie de la solución, donde puede concentrarse fácilmente, ser recuperado y removido.
- Separación de lodos por simple sedimentación.
- Huella reducida.
- Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes.
- El agua tratada por electrocoagulación contiene menor cantidad de sólidos disueltos que aquellas tratadas con productos químicos, situación que disminuye los costos de tratamiento de estos efluentes en el caso de ser reusados.

- Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras.
- El tiempo de retención del agua residual en el electrocuagulador oscila entre 6 a 10 minutos.
- El sistema es muy efectivo para remover el color del agua residual textil, alcanzándose un 96%.
- Se requieren espacios reducidos para la instalación de la planta de tratamiento.
- Es muy importante observar el área de los electrodos y la distancia entre ellos ya que tiene relación directa con el consumo de corriente eléctrica.
- La velocidad del fluido es un parámetro determinante en el proceso de EC.
- La conductividad del agua influye significativamente en el comportamiento eléctrico.
- En un solo proceso se reducen la DBO5 y la DQO a la vez que la turbidez.
- El tratamiento puede ser interrumpido y continuado a voluntad por el simple corte de la corriente eléctrica suministrada a los electrodos.
- Se forman dos tipos de lodos, aquellos lodos flotantes que se depositan en la parte superior de la celda y los lodos que sedimentan.

#### **4.5.2. Desventajas:**

- Reposición de los electrodos de sacrificio debido a que está directamente relacionado con la corriente aplicada al sistema (amperaje) y el tiempo del agua residual en la celda de electrocoagulación. Se estima un mínimo reemplazo de los electrodos de una a dos veces por año.
- La generación o producción de lodos está directamente relacionado con el nivel de contaminación del agua residual y de las especies catiónicas (aluminio, hierro) que se disuelven en el agua de acuerdo con la corriente aplicada a los electrodos. En todo caso la generación de lodos es menor que un sistema químico o biológico convencional. Se obtiene un lodo más compacto (dado aluminio o hierro) con un nivel de humedad entre 97 a 99.
- Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.

- No es efectivo en la remoción de DBO soluble, proveniente de solventes y anticongelantes.
- El uso de electricidad puede ser costoso en muchos lugares, por ello es recomendable el empleo de diferentes generadores de energía no convencional, como panel solar.
- El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso.

## **5. Tendencias futuras**

Con una población mundial cada vez mayor y progresivamente próspera, las demandas sobre los recursos hídricos mundiales requerirán mayores costos del agua y regulaciones más estrictas. Esto está impulsando a las empresas textiles y a los municipios por igual a reevaluar sus prácticas e impulsar un futuro más sostenible (Nicholas, N., 2018), teniendo para ello en cuenta que:

- La reutilización del agua y la sustentabilidad seguirán siendo objetivos importantes para las prácticas de prevención/reducción de la contaminación ambiental en la industria textil.
- La industria textil continuará eligiendo y utilizando soluciones de tratamiento de agua no solo para reducir sus costos operativos, sino también para reducir su huella hídrica y disminuir el impacto ecológico de su descarga de aguas residuales y la generación de lodos sólidos en el ecosistema circundante.
- La optimización del proceso de tratamiento de aguas residuales continuará siendo un punto focal para las empresas de la industria textil a medida que los costos de eliminación de aguas residuales y el consumo de agua dulce continúen aumentando debido a problemas de escasez de agua.

La optimización de métodos más eficientes, junto con soluciones de tratamiento avanzadas para tratar y reutilizar aguas residuales y agua de proceso, seguirá siendo una consideración importante para las empresas de fabricación textil de todo el mundo en el futuro.

La EC es en la actualidad una tecnología emergente que se presenta como alternativa para el tratamiento de aguas residuales, ofreciendo un potencial muy grande

en la remoción de muy diversos contaminantes contenidos en las aguas residuales de diferentes fuentes. Aunque ésta técnica es conocida hace ya algunas décadas y aplicada en muchos casos es aún tema de investigación y experimentación, pues se ha comenzado a recobrar el interés en ella debido a sus potencialidades en la aplicación, facilidad de manejo y operación, versatilidad y adaptabilidad a diferentes procesos y a sus ventajas ambientales y económicas.

Es así como el diseño de reactores para la electrocoagulación, la selección de los materiales de los electrodos y las condiciones de operación son aspectos que se deben perfeccionar mediante la investigación, para optimizar los procesos y hacerlos económicamente competitivos. Sin duda alguna la necesidad de proveer agua para la inmensa demanda mundial y la crisis por el recurso hídrico, constituyen un desafío que requiere atención urgente.

La electrocoagulación, como tecnología de alto rigor científico, tiene un significativo valor como parte de la solución global a este problema. El enfoque que se presenta de esta tecnología es positivo y pretende sentar un precedente y ahondar en todos los aspectos que la hacen completa, pertinente y observada como uno de los mejores modelos, con un gran alcance de aplicación y un muy significativo impacto en la población mundial (Nicholas, N., 2018).

### **5.1. Textil argentina que implementara sistema de electrocoagulación**

Textil Ibera SA es una empresa que pertenece al grupo Norfabril que agrupa dos importantes eslabones de la cadena de valor de la industria textil. Desde su página web, se puede acceder a esta información (T.I Iberá, 2023; Norfabril San Luis, 2023).

- Textil Iberá SA que se especializa en la producción de telas de punto, ubicada en la provincia de Corrientes capital. En 1979 nació TEXTIL IBERÁ SA, su creación surgió de la necesidad de autoabastecerse de la materia prima utilizada en la producción de indumentaria de algodón súper peinado bonetería a la empresa elabora prendas desde 1975, Norfabril San Luis SA.





Inauguración de la planta y a los 30 años desde su fundación

El proyecto se concreta en Laguna Brava, Corrientes, por ser una provincia algodonera por excelencia. En 1979 la empresa adquiere las primeras máquinas circulares y comenzó la producción de tejidos de punto dentro del marco del régimen de producción industrial, con una capacidad instalada de 300 toneladas anuales. Esa capacidad, la incrementó en 1982, 1989 (año en que se incorporó el área de Tintorería Industrial), 1997 y 2005. En el año 2015 duplica nuevamente su capacidad instalada, en 2017 instala una moderna tintorería de hilados, en 2020 renueva su maquinaria de teñido de telas adquiriendo equipos de baja relación de baño para contribuir al menor uso de agua y finalmente en el 2023 incorpora un sistema de electrocoagulación para el tratamiento de sus efluentes y la reutilización o vertido total del agua de tintorería sin contaminar el medio ambiente

La planta ocupa aproximadamente 6.000 mts<sup>2</sup> y hoy y en plena construcción de otro galpón de 1600 mt<sup>2</sup> para mejorar el layout de las instalaciones. Está equipada con maquinaria alemana e italiana de última generación, tanto en tejeduría, tintorería y terminaciones.

La capacidad productiva supera las 4.000 toneladas de tejido de punto anuales. La empresa posee modernas instalaciones de teñido, permitiéndole alcanzar un control absoluto sobre toda la producción (tanto en teñido de tela como en hilado color)



Frente de la planta industrial y su presencia en las exposiciones de Emitex



Tejeduría y tintorería: plantel de maquinarias de última generación



Ingreso de maquinarias y obra de ampliación

- Norfabril San Luis SA nace en 1975 como una empresa de confección de prendas en Villa Mercedes, San Luis, para abastecer una red de locales propios y franquiciados con su propia marca Hodward y Cameron. Los productos ofrecidos se destacan por su diseño y calidad. Abastecido principalmente por Textil Iberá, prácticamente la totalidad de las prendas se confeccionan en la Planta modelo ubicada en la ciudad de Villa Mercedes.

También diseña y produce prendas para las más importantes marcas argentinas y del exterior, como ser Penguin, Kevinsgton, Zara, Ay Not Dead, Rochas, Mistral, Wrangler, Ombú, Falabella, Lacoste y Tommy Hilfiger, a modo de ejemplo.

La Planta de confección ocupa aproximadamente 4.000 mts<sup>2</sup> y cuenta con más de 160 máquinas de costura Rimoldi. La capacidad productiva supera las 150.000 prendas mensuales.

Norfabril San Luis certificó su sistema de calidad de acuerdo a los estándares ISO 9001:2015 a principios de 2007.

Ha incorporado en su producción el sistema “Lean Manufacturing” (también conocido como ‘producción apretada’, ‘manufactura esbelta’, ‘producción limpia’ o ‘producción sin desperdicios’) que es un modelo de gestión de origen japonés que se enfoca en minimizar las pérdidas de los sistemas de manufactura al mismo tiempo que maximiza la creación de valor para el cliente final. Para ello utiliza la mínima cantidad de recursos, es decir, los estrictamente necesarios para el crecimiento.

Hoy Norfabril San Luis SA ha sido seleccionada entre otras empresas del eslabón de confección para aplicar el sistema “Emprendiendo Kaizen” junto a la secretaría de Pymes de la Nación, el Ministerio de Desarrollo Productivo, INTI y Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) dieron inicio al programa de formación virtual destinado a la implementación de acciones de mejora continua de la productividad y la competitividad en empresas de todo el país. Una metodología muy valiosa y reconocida, que cobra especial relevancia en la etapa de reactivación productiva. El Instituto cuenta con una red propia de asesores en tecnologías de gestión desde 2006 y que actualmente son más de 100 los asesores. El INTI llevará adelante el Sistema de Certificación de Asesores en Tecnologías de Gestión para la mejora continua.



Ingreso a la planta de Norfabril San Luis y Equipo de trabajo del Proyecto Kaizen





Distribución de trabajo según Lean Manufacturing

Un gran valor agregado de este grupo empresarial es el continuo compromiso con la calidad, por ello Textil Ibera SA certificó a los estándares ISO 9001 en Mayo de 1998 convirtiéndose en la primer empresa textil argentina en garantizar su calidad según estas prestigiosas normas internacionales, recertificando las sucesivas actualizaciones de la norma hasta llegar recientemente a la certificación de la norma ISO 9001:2015.

Fruto de este compromiso y de un enfoque de mejora continua, la empresa adecuó sus sistemas de calidad de la nueva norma ISO 9001 a partir del año 2004; y en Diciembre de 2005 volvió a certificar su calidad, esta vez de acuerdo a los estándares 9001. Desde entonces la empresa ha ido renovando su certificación cada 3 años.

La certificación de esta norma, otorgada por el TUV RHEINLAND GROUP de Alemania, asegura la continuidad de los procedimientos de fabricación con vistas a abastecer a todos sus clientes con estándares de calidad establecidos.

El sistema de Gestión de Calidad comprende todos los procesos: tejeduría, tintorería, confección y comercialización. A partir de este valor agregado pueden

potenciar el compromiso constante con la calidad y posicionarse en los segmentos más altos del mercado, ofreciendo productos de clase mundial que son exportados a todo el mundo.

El Grupo Norfabril es la única empresa textil argentina íntegramente certificada por la norma ISO 9001:2015.



Certificados originales de ISO 9001:2015

Ambas empresas aún siguen teniendo dentro de sus objetivos y proyectos ampliar sus acciones de mejoras ambientales con fines de sustentabilidad, como ser:

- Destino final de materiales y desperdicios, de ambas empresas.
- En los social, proyectos de inclusión y más capacitación.
- Y por último, inversiones económicas, tanto propias como conjuntamente con el gobierno nacional (como la red inexistente del gasoducto del NEA).

Así podrá posicionarse dentro del ranking de las industrias textiles donde la “innovación permanente” está orientada no solo a tener ganancias monetarias sino también ambientales, sustentables e inclusivas.

## 5.2. Proyecto de implementación de Textil Ibera SA para tratar sus efluentes con electrocoagulación

La empresa Textil Ibera SA de tejido de punto y teñido (en conos y telas sobre algodón 100% y algunas mezclas) ubicada en la provincia de Corrientes planteó una

gestión adecuada de sus efluentes mediante la construcción y operación de la planta de depuración de aguas residuales que incluye pre-tratamiento, tratamiento biológico y tratamiento fisicoquímico con tecnología de electrocoagulación.

Textil Ibera SA es consciente de los impactos que generan sus efluentes, por ello la Dirección planteó disminuir la carga contaminante de sus aguas residuales con la adquisición reciente de un equipo de electrocoagulación. Es una empresa que ya viene trabajando para ser más sustentable, por cambios de productos químicos en el proceso de tintura, por la incorporación en sus procesos de teñido de maquinarias de última generación en ahorro de agua en cada tintura, de productos químicos, de energía eléctrica y hasta la reutilización del agua.

En cuanto al mantenimiento y limpieza del equipo de tratamiento, el personal de mantenimiento será el encargado de ejecutar las acciones ordenadas por el técnico en la planta de tratamiento de aguas residuales, mientras que el personal de servicios generales realiza la limpieza de las instalaciones.

Las acciones de mantenimiento y limpieza para las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales serán planteadas en el manual que tendrá como objetivo principal el funcionamiento sin contratiempos del nuevo método de efluentes con el sistema de electrocoagulación para extender la vida útil de las estructuras y evitar contaminación en el agua. Como así también incrementar la eficiencia del proceso de operación y proporcionar el conocimiento del personal a cargo. Este instructivo de trabajo ayudara a gestionar los preparativos apropiados antes de iniciar la operación normal, dentro de los que se estima la capacitación previa a los operarios, inspección de la planta antes de su llenado y la manera de estabilizar el proceso para obtener la eficiencia esperada durante la operación. Este manual será revisado y actualizado periódicamente para establecer cambios en la parte operativa y estructural de la planta, para de esta manera disponer de una trazabilidad que ayude a instaurar en futuras mejoras. Como así también el funcionamiento y manejo de los diferentes procesos, con el fin de detectar rápidamente si el sistema está operando bien o no, de tal forma que se puedan tomar decisiones, sin necesidad de esperar varias horas mientras se realizan pruebas de laboratorio que demandan mucho tiempo. Adicionalmente, se presentan los principales parámetros que regulan la operación y control, y los instructivos de los principales ensayos que se deben realizar en el agua

para el control y seguimiento de los procesos de tratamiento. Al ser una empresa íntegramente certificada por Normas Iso 9001, todo lo referente a instructivos, capacitación, registro de indicadores y responsables de proceso, es parte de su trabajo cotidiano.

Los ensayos de laboratorio serán fundamentales para el registro de la documentación necesaria con el fin de agilizar su desarrollo y obtener los resultados oportunamente.

La empresa propone rediseñar la planta de tratamiento en dónde se contempla la adecuación de las unidades de depuración actualmente instaladas; es decir, se implementaría el tratamiento de electrocoagulación en la unidad de tratamiento biológico, se sedimentarían los flóculos en el decantador secundario acoplado al reactor biológico para finalmente descargar al alcantarillado que tiene un sistema de desagüe hasta su destino final; los lodos evacuados serán entregados al gestor ambiental, tal como se ejecuta en la actualidad; se conservaría la unidad de homogenización y neutralización, y se retiraría la unidad de tratamiento fisicoquímico para disponer de espacio para destinarlo como bodega de la planta de tratamiento de agua residual.

Retos que la empresa Textil Ibera SA se propone son:

- Ahorro económico.
- Respeto medioambiental.
- Reducción de compuestos inorgánicos.
- Reducción de tóxicos metálicos.
- Reducción de la materia orgánica.
- Eliminación de patógenos.
- Ser parte de la economía circular.

Este último sistema de tratamientos de efluentes con electrocoagulación comprende equipos compactos que además presentan una alta automatización y un nivel de sencillez de utilización bastante elevado. Una de las principales ventajas que

presentan es que tienen una alta adaptabilidad a los distintos tipos de aguas (cambios en conductividad, pH, presencia de grasas y aceites).

El equipo adquirido por Textil Ibera SA es de procedencia alemana de la marca Proelec (empresa de tecnología electroquímica) cuyo lema es que cada día sean más las empresas que apuestan, no solo por la mejora de sus productos y servicios, sino también por el cuidado del medio ambiente. Proelec sabe que muchas empresas invierten en el tratamiento de dichos residuos ya sea por implementación de la norma ISO14000 o bien para la reducción de los costes generados por la contratación de empresas destinadas al tratamiento de dichos desechos. Por ello Proelec invierte en el desarrollo de proyectos desarrollados con el medio ambiente. Se ven el resultado de esta inversión en el revolucionario sistema para el tratamiento de aguas residuales basado en el principio de la electrocoagulación.

El objetivo de Proelec como el de Textil Ibera SA con el agua, es la reutilización total o su vertido controlado sin contaminar el medio ambiente. Como así también son conscientes ambas empresas que el agua es un bien escaso y cada vez se requieren sistemas preparados para recuperarla adecuadamente en forma eficiente.

Proelec es una empresa que ha desarrollado por más de 15 años sistemas de tratamientos de aguas residuales con tecnologías electroquímicas que lo ha llevado a consolidar el tratamiento de aguas residuales con electrocoagulación y electrooxidación. Ya que el mundo de tratamiento de aguas residuales va cambiando como sus requisitos tecnológicos.

### **5.3 Equipamiento certificado**

Proelect está certificada con “Environmentally Friendly” que es una Red Académica Internacional e Interinstitucional de Investigación Multidisciplinar que para ser distinguido con la certificación se debe reconocer la labor y trayectoria de los investigadores, académicos y público en general, en su labor pro ambiental. Donde se evalúa la empresa año a año que la empresa continúe en términos sustentables, promoviendo la investigación y la producción de alta calidad, tomando en cuenta la dimensión ambiental de la sustentabilidad, siga comprometida con la mejora continua y la prevención de la contaminación en su entorno y contexto.



Y su actuar siga indicando compromisos con las regulaciones ambientales vigentes y con otros requerimientos organizacionales o institucionales suscritos por su organización y aquellos adoptados por la sociedad.



Símbolo en el equipo certificado

Estos equipos pueden ser adquiridos con certificación ATEX. La certificación ATEX es un requisito para todas las empresas que fabrican equipos eléctricos que se utilizan en entornos peligrosos y están destinados a comercializarse en la Unión Europea.

Para obtener la certificación ATEX, existen cuatro áreas principales de cumplimiento, según la Ley (2016):

- El equipamiento cumple con el propósito.
- El sistema de protección cumple con su propósito.
- Contiene la información adecuada.
- Asegurar que se puede utilizar sin correr riesgos.
- Identificación con el siguiente logo:



Símbolo en el equipo certificado

### 5.3.1. Características del equipo de electrocoagulación

El equipo tiene las siguientes características (Proelec, 2023): es un sistema totalmente automático que permite una electrocoagulación continua y totalmente controlada.

El sistema contiene los siguientes elementos:

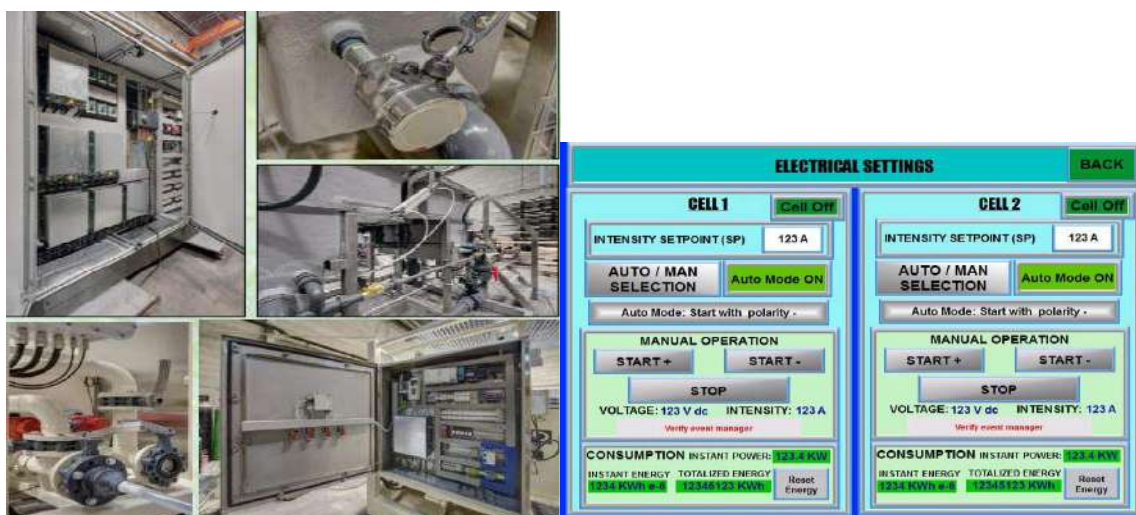
- Parte de control para la regulación y monitoreo del proceso con siguientes característica:
  - ✓ Controlador Convertidor programable.
  - ✓ Convertidor AC/DC.
  - ✓ Pantalla táctil de operación.
  - ✓ Varios elementos eléctricos e instrumentación.
- Parte de potencia con los siguientes elementos básicos:
  - ✓ Bomba de entrada de agua a tratar.
  - ✓ Bomba de salida de agua tratada.
  - ✓ Válvulas automáticas de entrada y salida.



Armario de control y potencia de un sistema Proelec



Electrocoagulador: equipo adquirido



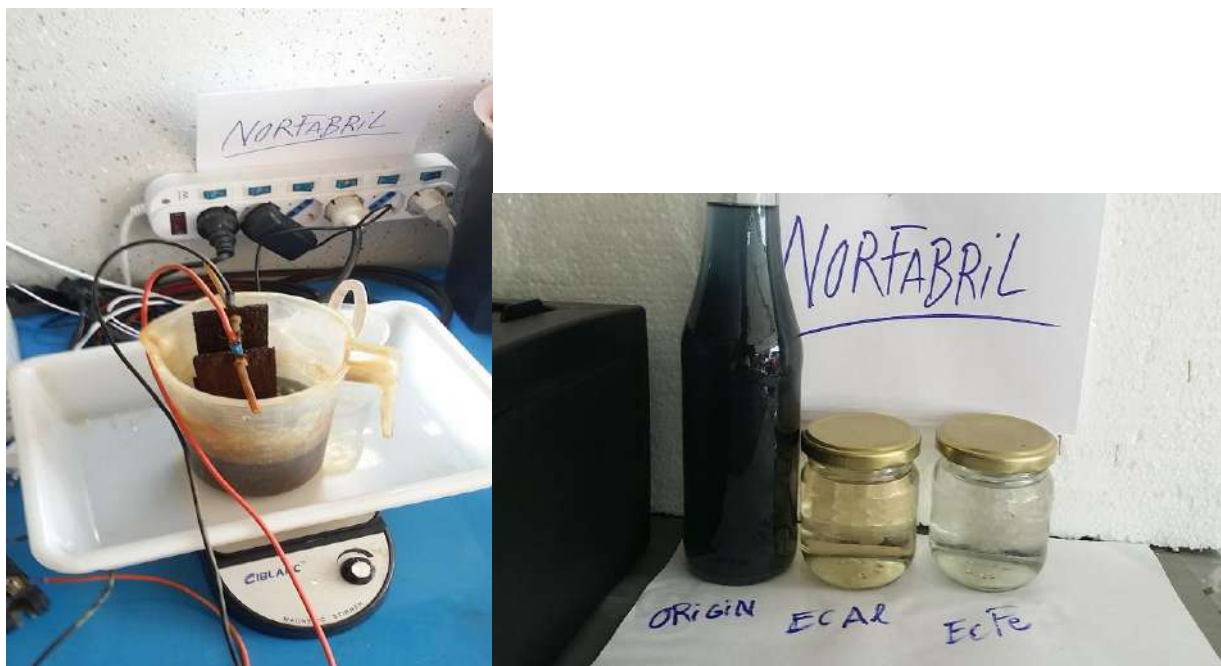
Electrocoagulador: sistemas eléctricos y cañerías y Automatización e integración total

### 5.3.2. Análisis de laboratorio

Para confirmar la adquisición del equipo y considerar que sea el sistema adecuado para el tratamiento de las aguas residuales de la empresa Textil Ibera SA, se enviaron muestras a Alemania para realizar las pruebas en los laboratorio de Proelec que aportaron mucha información, para definir exactamente el grado de eliminación de contaminantes, incluso a nivel visual.

Los resultados de los parámetros físicos y químicos obtenidos después del tratamiento muestran un porcentaje de disminución muy elevado encontrándose dentro

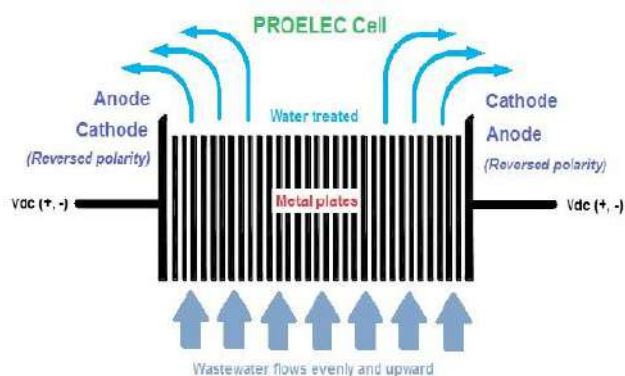
de los valores máximos admisibles. Obteniendo porcentajes de disminución de DQO y DBO 5 considerables. Por ello se puede afirmar que el tratamiento de electrocoagulación logro disminuir los contaminantes de los efluentes de la empresa textil (Textil Ibera SA), como así mismo se logrará mejorar la calidad del efluente que será vertido.



Agua residual de Textil Ibera SA tratada con electrodos de Aluminio y de Hierro

### 5.3.3. Proceso de electrocoagulación

Tomando como referencia la página web de PROELEC (2023), se detalla a continuación el funcionamiento del sistema de electrocoagulación. Para ello la siguiente imagen es útil para explicar cómo funciona:



Bosquejo de funcionamiento del electrocoagulador

- El reactor está preparado con una ánodo y un cátodo, y decena de placas metálicas sacrificables (aluminio y hierro) puestas en paralelo, una al lado de la otra.
- Los materiales que componen el reactor están desarrollados para soportar altas temperaturas durante largos periodos de tiempo, habituales es este tipo de tratamientos, y son causados por la energía aportada al proceso y las reacciones electroquímicas aportantes.
- La disposición en paralelo de las placas es eléctricamente similar a una única celda con muchos electrodos e interconexiones, por ello genera ahorro de energía.
- El efluente a tratar se introduce por debajo del reactor y se dispersa uniformemente a medida que se mueve hacia arriba a través de los electrodos.
- Se introduce corriente continua dentro del reactor conectando el positivo (+) y el negativo (-) en la primera y última placa en cada extremo del reactor.
- Es así como el lado positivo sufre las reacciones del ánodo, mientras que el lado negativo se da la misma reacción en el cátodo.
- Cuando la corriente eléctrica pasa entre los electrodos, los lados neutrales de las placas conductoras se transforman en lados cargados, que tienen carga opuesta, en comparación el que está en paralelo al lado de la placa en cuestión.
- Los electrodos reaccionan liberando iones metálicos cargados en el efluente a razón de unos determinados g/m<sup>3</sup> tratados, dependiente de la energía y calidad de agua a tratar.
- Los iones liberados neutralizan las cargas de las partículas y allí se inicia el proceso de coagulación.
- El agua que contiene partículas coloidales, aceite y otros contaminantes, se mueve a través del campo eléctrico aplicado y allí puede haber ionización,

electrolisis, hidrolisis y formación de radicales libres que pueden alterar las propiedades físicas y químicas del agua contaminante.

- El efluente se convierte en un conductor, permitiendo de esta manera la circulación de la corriente eléctrica a lo largo de toda la celda.
- El estado reactivo provoca que los contaminantes se liberen del agua y se destruyan o se hacen menos solubles.
- La inundación de electrones en el efluente neutraliza las partículas cargadas, logrando que retiren de la suspensión.
- Los electrodos se limpian en forma automática y diferente: invirtiendo la polaridad y/o elementos de limpieza mecánico / neumático. Esto facilita las tareas de mantenimiento, preservación de la función del equipo, mantener un alto rendimiento del equipo a lo largo del tiempo.



Electrodos

Los equipos son comercializados, de acuerdo a la necesidad de la industria con los siguientes sistemas:

- Con o sin separador de lodos.
- Con o sin dosificador de floculante.
- Con o sin funciones de control de ph y conductividad.
- Cantidad de reactores / cabezales que se pueden instalar sin variar el resto del sistema ya que depende del volumen de agua a tratar.

#### 5.3.4. Objetivos a lograr con el sistema de electrocoagulación

Esta potente tecnología está diseñada con las siguientes características (Proelec, 2023):

- Eliminar la suspensión de aceite.
- Eliminar gran parte de contaminación orgánica.
- Llegar hasta el 90-95% de eliminación de DQO y DBO5 es producida por los siguientes efectos del proceso:
  - ✓ Floculación de materia orgánica
  - ✓ Oxidación de materia orgánica
  - ✓ Roturas de grandes moléculas
  - ✓ Oxidación indirecta por generación de oxidantes químicos fuertes
- Eliminar más del 98% del contenido de aceite porque la reducción electroquímica produce la rotura y separación de los aceites y grasas presentes en el agua. Se separan por flotación debido a la generación de micro burbujas.
- El equipo ejecuta un proceso electroquímico controlado que destruye los compuestos tóxicos.
- Mejora el tratamiento físico-químico tradicional como también de flocular y coagular.
- Ejecuta una oxidación parcial de la contaminación biodegradable como no biodegradable.
- La limpieza de sus electrodos son automáticos.
- Al trabajar los equipos en continuo se reduce la potencia consumida, por ello asegura un menor consumo eléctrico por m<sup>3</sup> tratado (ahorro energético).

- Se pueden cambiar automáticamente la polaridad de los electrodos, en ciclos de tiempo ajustables por programa para facilitar la limpieza del mismo como mantener el mejor rendimiento de tratamiento.
- El reactor tiene unos difusores de micro burbujas que ayudan a la flotación de solidos que se van generando para facilitar la remoción y tratamiento posterior.
- Los elementos eléctricos y mecánicos vienen con seguridad (niveles de temperatura, presión) para garantizar la segura operación del equipo.
- Ecotoxicidad, ya que elimina los componentes orgánicos tóxicos, lo cual permite un vertido y/o reutilización. También es de aplicación como paso previo de tratamiento biológico.
- El caudal a tratar esta entre 0.5 m<sup>3</sup>/h hasta ilimitado.
- Intensidad eléctrica escalable, ya que va a depender de cada caso.
- Los consumibles son los electrodos sacrificables.
- Tiempo de residencia del agua es ilimitado.
- Tiene un sistema de control central, al que se integran otros sistemas de control, independientes entre sí. Están destinados a controlar específica y adecuadamente la potencia adecuada al reactor. Todo está automatizado para que el usuario no tenga que preocuparse por el funcionamiento y seguridad.

Durante el proceso de tratamiento se producen los siguientes procesos:

- Eliminación de metales pesado.
- Eliminación y separación de aceites y grasas.
- Oxidación de materia orgánica.
- Reducción y/o eliminación de moléculas orgánicas.



- Eliminación de bacterias por la descarga eléctrica, temperatura y generación de oxidantes en el proceso, produce un efecto altamente gemicida en los efluentes tratados por electrocoagulación.
- Eliminación y separación de solidos suspendidos y coloides.
- Eliminación de olores.
- Eliminación de la dureza del agua: ya que la eliminación de sales (carbonatos, sulfatos) por precipitación electroquímica permite rebajar la dureza del agua y evitar incrustaciones en tuberías e instalaciones.
- Eliminación de color.

Un punto importante serán los análisis del agua residual tratada que será realizada in situ por el personal calificado de Textil Ibera SA y la empresa será apoyada por el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) tanto del sector textil como ambiental.

También están muy interesados en ser parte de los controles el CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) como el INA (Instituto Nacional del Agua), instituciones de gran prestigio en la república Argentina, Ambos ya fueron contactados con la Dirección de Textil Ibera SA, ya que hoy es la primer empresa textil que incorporaría este sistema de EC para sus tratamiento de efluentes. Y todas las instituciones solo poseen ensayos de laboratorio, con resultados exitosos, pero tener dichos ensayos en una planta textil real, es interesante.

## **6. Conclusiones**

Es muy difícil ser 100% sustentable y utilizar la economía circular en toda la cadena de valor textil. Se trata de un camino para serlo y no como una actitud de castigar al que no lo es. Se pueden ir modificando muchas cosas de su trazabilidad o de su cadena de valor, desde el primer eslabón, como ser el cultivo hasta el packaging y medir la satisfacción del cliente, entes reguladores y medio ambiente. Lo que toda empresa debe ser, es ser consciente y responsable en el sector que le toca trabajar,

Ser sustentable debería ser algo esencial. Nuestros recursos naturales son limitados y es notable la gran cantidad de basura que hay. El mayor contaminador no

es sólo el que fabrica, sino el que lo consume también. La sustentabilidad se arma en comunidad. Es igual al cuidado y el cuidado, al amor. Cuidamos lo que amamos.

El gran impacto ambiental de nuestra indumentaria se debe al modelo de economía lineal. Se debe ir hacia una economía circular desde el inicio de las hilaturas hasta las post-vida de la prenda.

Las industrias textiles presentan notables problemas ambientales vinculados principalmente al uso y la gestión del recurso hídrico, siendo sus aguas residuales una de las más contaminantes de los sectores industriales. Estos efluentes contienen compuestos orgánicos resistentes a los procesos biológicos y químicos convencionales requiriendo tratamientos especiales e innovadores. La tendencia actual va encaminada hacia la implementación de tecnologías de remediación eficaces que logren alcanzar un nivel de degradación suficiente como para reutilizar las aguas tratadas y reducir el consumo de dicho recurso.

También la industria textil es considerada, además de uno de los principales generadores de contaminantes de agua y desechos peligrosos debido a que en el proceso de fabricación incluye diversas etapas que provocan una seria contaminación al medio ambiente.

Los principales puntos de generación de contaminantes están centrados en el manejo de materiales peligrosos, emisiones al aire, residuos sólidos y líquidos, consumo de energía y generación de grandes cantidades de aguas residuales altamente coloreadas y constituidas por compuestos difícilmente biodegradables en las aguas dulces.

El impacto ambiental que causa este sector es variado, pero el color es el primer signo contaminante que se observa en sus aguas residuales, provocando reducción de la transparencia y disminución del oxígeno disuelto, lo que dificulta la función fotosintética de las plantas. En términos de población, el consumo medio en el mundo de colorantes por persona al año es de alrededor de 200 gramos. En los países desarrollados puede llegar hasta 600 o 700 g/persona, teniendo un uso por aplicación del 60% en la industria textil, 25% en pinturas y tintas (pigmentos), y el resto en el teñido de papel, cuero, alimentos y otro.

El tratamiento de aguas residuales de la industria textil es un problema ambiental al que se le ha dado atención, ya que muchos colorantes y aditivos textiles son tóxicos y no biodegradables y, en consecuencia, son descargados a canales y ríos, permaneciendo en el ambiente. Para su tratamiento existen procesos físicos, químicos y biológicos, que pueden ser aplicados para remover colorantes de las aguas residuales. Cada método tiene sus limitaciones técnicas y económicas. Se ha reportado que el uso de un solo proceso no es eficiente para la degradación del color y la mineralización de los compuestos que se forman. Los procesos biológicos han sido considerados como alternativas efectivas para el tratamiento de efluentes coloreados<sup>1</sup>, pero la necesidad de aclimatación, los tiempos elevados de residencia y el carácter recalcitrante de algunos colorantes y auxiliares de manufactura constituyen en la actualidad las mayores limitantes para su operación estable.

A partir de los avances tecnológicos que atraviesan continuamente al sector industrial y, particularmente en lo relativo a las tecnologías de tratamiento de efluentes y determinaciones analíticas de contaminantes, así como al incremento de la relevancia social de los temas referidos al cuidado del medio ambiente,

Los recursos hídricos y la salud, se torna indispensable una continua revisión de los criterios técnicos adoptados. Hay normas que especifican taxativamente la obligatoriedad de su revisión periódica, pero en raras oportunidades esto ha sido cumplido. Resulta necesario unificar criterios de los parámetros y límites vigentes en las diferentes normativas aplicables a los vertidos industriales, cloacales y mixtos, a los cuerpos receptores, conductos pluviales y colectoras cloacales. Un cuerpo normativo más conciso facilitará un mayor seguimiento y actualización por parte de los cuerpos técnicos que el Estado pudiera convocar a tal fin.

La industria textil y de confecciones tradicionales tienen un marcado índice de contaminación en los diferentes eslabones de la cadena productiva. Es una tendencia creciente, a nivel mundial, el uso de fibras naturales, del fomento del comercio justo y la sostenibilidad en la moda. En este sentido se desarrolla investigación para la utilización de nuevos productos y el tratamiento de los principales impactos ambientales de la industria textil y de confecciones.

La naturaleza de la relación entre los ecosistemas, la hidrología y el bienestar humano no debe ser tan precaria como se evidencia en ciertos casos. No solo es

necesario mejorar los resultados de gestión del agua y lograr una seguridad, sino también es importante garantizar beneficios colaterales que son esenciales para todos los aspectos del desarrollo sustentable.

Sin duda alguna la necesidad de proveer agua para la inmensa demanda mundial y la crisis por el recurso hídrico, constituyen un desafío que requiere atención urgente. La electrocoagulación, como tecnología de alto rigor científico, tiene un significativo valor como parte de la solución global a este problema. El enfoque que presenta esta tecnología es positivo y pretende sentar un precedente y ahondar en todos los aspectos que la hacen completa, pertinente y observada como uno de los mejores modelos, con un gran alcance de aplicación y un muy significativo impacto en la población mundial. La implementación que se realice en un futuro inmediato del proceso de electrocoagulación tendrá como antecedentes las revisiones y los experimentos que se hayan estructurado para alcanzar su objetivo, la optimización de la tecnología y de las alternativas en el aprovechamiento de las mismas.

Aunque ésta técnica es conocida hace ya algunas décadas y aplicada en muchos casos, ha comenzado a recobrar el interés en ella debido a sus potencialidades en la aplicación, facilidad de manejo y operación, versatilidad y adaptabilidad a diferentes procesos y a sus ventajas ambientales y económicas.

Este sistema innovador de tratamiento de efluentes con sistema de electrocoagulación en una planta textil tiene muchas ventajas:

- Tratamiento múltiple de contaminantes.
- Baja generación de lodos.
- Bajo coste de instalación y montaje.
- Bajo coste de explotación.
- No requiere adición de productos químicos.
- Elimina el color y olor.
- El tratamiento es instantáneo.

- Hay posibilidades de módulos de ampliación, en caso de expansión de la planta.
- No se requiere de una obra civil.
- Totalmente automatizado y bajo nivel de mantenimiento.
- Poco espacio necesario, por ser un equipo reducido.
- Posibilidad de tratamientos dentro de un proceso de producción.

Si se compara con otros sistemas de tratamientos de efluentes se puede ver las siguientes ventajas:

- Tratar conjuntamente múltiples contaminantes.
- Precisa menos espacio y obra civil.
- Genera un 90% menos de lodos en comparación con el sistema físico-químico tradicional.
- Los lodos son fáciles de filtrar.
- La conductividad y sales favorecen el sistema de depuración, sin que estos aumenten y siendo inferiores en el agua tratada.
- Tiende a llevar las aguas tratadas a un pH neutro.
- En vertido final es higiénico.
- Genera lodos inactivos y limpios, siendo aptos para compostaje.
- No hay incrustaciones.
- El costo de operación ronda entre 50 – 60% más bajo que los tratamientos físico – químicos tradicionales.

La electrocoagulación, como tecnología de alto rigor científico, tiene un significativo valor como parte de la solución global a este problema, ya que es un proceso electroquímico con la misma base que la coagulación convencional. Ambos procesos tienen como objetivo desestabilizar los coloides contenidos en el agua,

difieren en el método utilizado para añadir este agente. El método tradicional se añaden como unas sales. La innovación radica en el que el coagulante se radica insitu con una oxidación electrolítica anódica (hierro o aluminio), el cual es sacrificado, y por ello no es necesario añadir sales.

El camino emprendido por Textil Ibera SA como pionera en aplicar electrocoagulación para el tratamiento de sus efluentes y será de utilidad para que organismos de gubernamentales y organizaciones ambientales desarrollen y ajusten procedimientos de evaluación de manera de asistir a las empresas de este sector y de otros de manera de implementar técnicas innovadoras que disminuyan el impacto ambiental.

## 6. Referencias

Aguasresiduales.info (2017). Argentina trata solo el 12 % de las aguas residuales que vierte a sus ríos. Recuperado el 20 de enero de 2023 de:

<https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/argentina-trata-solo-el-12-de-las-aguas-residuales-que-vierte-a-sus-rios-2ED0T>

Arango Ruiz, A. (2005). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación – Ingeniería ambiental.

Recuperado el 15 de febrero de 2023 de:

[https://www.researchgate.net/publication/26613070\\_La\\_electrocoagulacion\\_una\\_alternativa\\_para\\_el\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales](https://www.researchgate.net/publication/26613070_La_electrocoagulacion_una_alternativa_para_el_tratamiento_de_aguas_residuales)

Arango Ruiz, A. (2015). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Estructplan. Recuperado el 25 de enero de 2023 de:

<https://estructplan.com.ar/la-electrocoagulacion-una-alternativa-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales/>

Brinergy (2020). Nuevos sistemas de tratamiento de aguas aplicables a la industria:

Electrocoagulación y MBB. Gobierno de Canarias. España. SODECAN.

Recuperado el 30 de noviembre de 2022 de: <https://vtic.itccanarias.org/wp-content/uploads/2020/01/Brinergy.-Electrocoagulaci%C3%B3n.pdf>

Congreso Latinoamericano de hidráulica (2018) Recuperado 18 de enero de 2023.

[https://www.ina.gob.ar/congreso\\_hidraulica/resumenes/LADHI\\_2018\\_RE\\_65.pdf](https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_65.pdf)

- Chan, E. (2020). Seis decisiones de la moda que puedes tomar para reducir la huella hídrica. Vogue Spain. Recuperado el 16 de marzo de 2023 de: <https://www.vogue.es/moda/articulos/reducir-consumo-agua-ropa-moda-sostenible>
- DELOS (2016) Revista Desarrollo Local Sostenible. Aplicación del principio de electrocoagulación en el tratamiento de agua residual. Recuperado 15 de febrero de 2023. <https://www.eumed.net/rev/delos/26/electrocoagulacion.html>
- De Seta, G.E.; Meichtry, J.M., Angulo A., Golubickas A., Sanchez P.C., Di Fraia, G., Marchisio P.L., Russo A.V., Lan, L.E., Ferrari A., Vullo, M. (2019). Estudio comparativo de métodos electroquímicos para el abatimiento de colorantes textiles. XXXII Congreso Argentino De Química. Sociedad Científica Argentina. Editorial Asociación Química Argentina. Recuperado el 7 de abril de 2023 de: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/130910>
- El Día de La Plata. (2023). Huella hídrica: todo se hace con agua. Artículo periodístico del 23 de junio de 2019 de: <https://www.eldia.com/nota/2019-6-23-7-31-29-huella-hidrica-todo-se-hace-con-agua-vivir-bien>
- Ellen MacArthur Foundation (2017). Una nueva economía textil: rediseñando el futuro de la moda. Recuperado el 10 de mayo de 2023 de: <https://ellenmacarthurfoundation.org/es/una-nueva-economia-textil>
- Environmentally Friendly. Certificación "Environmentally Friendly". Recuperado 15 de Diciembre del 2022 de: <https://redai3m.wordpress.com/cursos-y-certificaciones/certification-environmentally-friendly/certificacion-environmentally-friendly/>
- Estrucplan (2000). Composición de las aguas residuales. Recuperado el 3 de enero del 2023: <https://estrucplan.com.ar/composicion-de-las-aguas-residuales/>
- Guaman Mendoza, A., Guaman Z.M., Alvarez Pacheco C. (2016). Aplicación del principio de electrocoagulación en el tratamiento del agua residual textil. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Recuperado el 18 de abril de 2023 de: <https://www.eumed.net/rev/delos/26/electrocoagulacion.html>

- Herrera Ibarra, L.M., Chigo, R.L., de la Peña Arellano, L.A., Martínez Roldán, A. y Rodríguez Rosales, M.D.J. (2018). Remoción de colorantes textiles en descargas de agua industrial por electrocoagulación. XXVIII Congreso latinoamericano de hidráulica. Buenos Aires. Argentina. Recuperado el 15 de noviembre de 2022 de:  
[https://www.ina.gob.ar/congreso\\_hidraulica/resumenes/LADHI\\_2018\\_RE\\_65.pdf](https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/resumenes/LADHI_2018_RE_65.pdf)
- Huguet, M.J. (2020). Qué es la huella hídrica y cómo funciona en la industria de la moda. Franca Magazine. Recuperado el 19 de diciembre de 2022 de:  
<https://francamagazine.com/la-huella-hidrica-en-la-moda/>
- Iagua (2016). ¿Qué es el certificado Atex?. Recuperado el 25 de abril de 2023 de:  
<https://www.iagua.es/noticias/espana/barmatec/16/09/30/que-es-certificado-atex>
- Koncagül, E. y Tran, M. (2022). Groundwater. Making the invisible visible. Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. UNESDOC. Biblioteca Digital UNESCO. Recuperado el 29 de enero de 2023 de:  
[https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380733\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380733_spa) 2022 unesco aguas subterráneas
- Leahy, D., Lauren, R. y Tanner, N. (2022). Porqué es tan importante descubrir el agua en la ropa. World Wild Life Foundation. Recuperado el 10 de mayo de 2023 de:  
<https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/por-que-es-tan-importante-descubrir-el-rol-del-agua-en-la-ropa>
- Leyes, M. y Peñuela Meneses H.W. (2021). Diseño mecatrónico para una planta de tratamiento de aguas residuales en entornos de industrias textiles con énfasis en tintorerías. Conferencia: Mujeres en ingeniería: empoderamiento, liderazgo y compromiso. Revista científica de la Universidad de Colombia. Recuperado el 30 de enero de 2023 de:  
[https://www.researchgate.net/publication/363108960\\_DISENO\\_MECATRONICO\\_PARA\\_UNA\\_PLANTA\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_EN\\_ENTORNOS\\_DE\\_INDUSTRIAS\\_TEXTILES\\_CON\\_ENFASIS\\_EN\\_TINTORERIAS:](https://www.researchgate.net/publication/363108960_DISENO_MECATRONICO_PARA_UNA_PLANTA_DE_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_EN_ENTORNOS_DE_INDUSTRIAS_TEXTILES_CON_ENFASIS_EN_TINTORERIAS)
- Library.co (s/f). Aplicaciones de la electrocoagulación en la actualidad. En Estudio de Optimización de Variables de Funcionamiento de un Sistema de Electrocoagulación para Tratar Aguas de la Industria Textil (Page 57-65) (2013)



de la Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Quito. Ecuador. Recuperado el 26 de febrero de 2023 de: <https://1library.co/article/aplicaciones-de-la-electrocoagulaci%C3%B3n-en-la-actualidad.yj79lpmy>

López Grimau V. y Crespi Rosell, M. (2015). Gestión de efluentes de la industria textil. Cuadernillo Tecnológico Nro. 18. Proyecto Mejora de las economías regionales y desarrollo social. Instituto de Investigación Textil (INTI) y Cooperación Industrial de la Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado el 17 de noviembre de 2022 de: <https://studylib.es/doc/7785154/gestion-de-los-efluentes-de-la-industria-textil---inti%20gesti%C3%B3n%20de%20los%20efluentes%20textiles%20inti%202015%20%20cuadernillo%20tecnol%C3%B3gico%20nro%2018GESTION%20DE>

Luxiders (2023). Textiles circulares. Hacer de la moda una industria sostenible. Recuperado el 15 de mayo de 2023 de: <https://luxiders.com/es/textilescircularesmoda-sostenible/>

Mansilla, H.D., Lizama, C., Gutarra A. y Rodríguez, J. (2015). Tratamiento de residuos líquidos de la industria de celulosa y textil. Estructplan. Recuperado el 20 de diciembre de 2022 de: <https://estructplan.com.ar/tratamiento-de-residuos-liquidos-de-la-industria-de-celulosa-y-textil/>

Meichtry J.M. (2022). Tratamiento de colorantes por procesos avanzados, y análisis de reuso del agua en la industria textil. Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Conicet. Mendoza. Argentina. Recuperado el 20 de enero del 2023 de: [https://www.conicet.gov.ar/new\\_scp/detalle.php?keywords=&id=27270&congress=yes&detalles=yes&congr\\_id=10090020](https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=27270&congress=yes&detalles=yes&congr_id=10090020)

Metcalf & E. (1996). Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización. Editorial Mc Graw Hill. México.

Nicholas, N. (2016). Tratamiento Textil - Reutilización sostenible del agua en la industria textil. Wasterwater Digest. Recuperado el 18 de febrero de 2023 de: <https://www.wwdmag.com/wastewater-treatment/water-recycling-reuse/article/10934723/textile-treatment>

- Norfabril San Luis S.A. (2023). Página web empresa. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de: <https://www.norfabril.com/norfabril-san-luis/>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2019. El costo ambiental de estar a la moda. Departamento de Medio Ambiente. Recuperado el 16 de marzo de 2023 de: <https://news.un.org/es/story/2019/04/1454161>
- Proelec (2023). Planta de tratamientos de aguas residuales. Recuperado el 10 de febrero de 2023 de: <https://proelec.tech/es/>
- QStone EC y Lenntech (2021). Electrocoagulación (CE) para el tratamiento de aguas residuales. Lenntech. Recuperado el 25 de enero de 2023 de: <https://www.lenntech.es/processes/electrocoagulation.htm>
- Red Académica Internacional e Interinstitucional de Investigación Multidisciplinar (2021). Certificación “Amigable con el Medio Ambiente” (Certificación “Environmentally Friendly”). Recuperado el 30 de enero de 2023 de: <https://redai3m.wordpress.com/cursos-y-certificaciones/certification-environmentally-friendly/certificacion-environmentally-friendly/>
- Tecnical b Automatización Industrial (s/f). Normativa ATEX – Nomenclatura y codificación. Recuperado el 15 de febrero de 2023 de: <https://www.technical.cat/apunts-tecnics/cas-normativa-atex-atmosferas-explosivas-apuntes-tecnicos-technical-manresa-igualada-ripoll-lleida.pdf>
- T.I Iberá. (2023). Textil Iberá S.A. Página web. Recuperado el 23 de marzo de 2023 de: <https://www.textilibera.com.ar/>
- Unesco (2017). Aguas residuales. El recurso desaprovechado. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Publicado en 2017 por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 7, place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia. Recuperado el 28 de febrero de 2023 de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- Unesco (2023). Resumen de Actas. Conferencia del agua de la ONU 2023. United Nations. Un wáter. Recuperado el 10 de abril de 2023 de: [www.unwater.org](http://www.unwater.org)

World Circular Textiles Day (s/f) ¿Qué es el día mundial de los textiles circulares?.

Recuperado el 10 de mayo de 2023 de:

<https://worldcirculartextilesday.com/about/>