



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE LA PRL, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE

EVALUACIÓN DE RIESGO DE UNA PLANTA PILOTO DE EXTRACCIÓN DE ESTRUVITA Y SULFATO DE AMONIO

Autor: Suarez Defaz Ronel Adrián

Tutor de Empresa:
Martín Marroquín, Jesús M^a.
Fundación CARTIF

Tutor Académico:
Diaz Villalobos Israel
Universidad de Valladolid.

Valladolid, julio 2025.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE LA PRL, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE

EVALUACIÓN DE RIESGO DE UNA PLANTA PILOTO DE EXTRACCIÓN DE ESTRUVITA Y SULFATO DE AMONIO

Autor: Suarez Defaz Ronel Adrián

Tutor de Empresa:
Martín Marroquín, Jesús M^a.
Fundación CARTIF

Tutor Académico:
Diaz Villalobos Israel
Universidad de Valladolid.

Valladolid, julio 2025.

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Máster tuvo como objetivo colaborar con el Responsable de Prevención de Riesgos Laborales de la Fundación CARTIF y realizar una evaluación técnica de riesgos laborales en una planta piloto de recuperación de nutrientes a partir de aguas residuales urbanas. La instalación experimental, alimentada desde la EDAR de Valladolid, está diseñada para la obtención de fertilizantes como estruvita y sulfato de amonio mediante procesos de cristalización, separación sólido líquido, stripping y scrubbing. Se aplicó la metodología de evaluación del INSST, permitiendo identificar riesgos asociados al uso de productos químicos, equipos con partes móviles, presión, riesgo eléctrico y atmósferas potencialmente explosivas. Asimismo, se plantearon medidas preventivas y correctoras adaptadas al entorno experimental. Durante las prácticas, se participó en la gestión técnica de PRL: inspecciones en instalaciones ATEX, revisión de equipos a presión, control de almacenamiento de sustancias peligrosas, evaluación de trabajos en altura y verificación de planes de emergencia, fortaleciendo la integración de la seguridad en entornos I+D.

PALABRAS CLAVES

Prevención, Evaluación, Planta piloto, Estruvita, Sulfato de amonio,

ABSTRACT

The objective of this Master's Thesis was to collaborate with the Occupational Risk Prevention Manager at the CARTIF Foundation and conduct a technical assessment of occupational risks in a pilot plant for nutrient recovery from urban wastewater. The experimental facility, supplied by the Valladolid WWTP, is designed to obtain fertilizers such as struvite and ammonium sulfate through crystallization, solid-liquid separation, stripping, and scrubbing processes. The INSST assessment methodology was applied, allowing for the identification of risks associated with the use of chemicals, equipment with moving parts, pressure, electrical risk, and potentially explosive atmospheres. Preventive and corrective measures adapted to the experimental environment were also proposed. During the internship, the student participated in technical Occupational Risk Prevention management: inspections of ATEX facilities, inspection of pressure equipment, control of storage of hazardous substances, evaluation of work at heights, and verification of emergency plans, strengthening the integration of safety in R&D environments.

KEYWORDS

Prevention, Evaluation, Pilot plant, Struvite, Ammonium sulfate,

ÍNDICE

RESUMEN	3
PALABRAS CLAVES.....	3
ABSTRACT.....	3
KEYWORDS	3
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	5
ÍNDICE DE TABLA.....	5
ÍNDICE DE ANEXOS.....	6
1. INTRODUCCIÓN:.....	7
1.1 MOTIVO DEL TRABAJO:.....	8
1.2 ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LAS PRÁCTICAS.....	8
1.3 UBICACIÓN DE LA EMPRESA	9
1.4 LUGAR DE REALIZACIÓN DE LAS PRACTICAS:	9
1.5 TUTOR DE LA EMPRESA	10
1.6 TUTOR ACADÉMICO DE LAS PRACTICAS	10
1.7 JUSTIFICACIÓN:	10
2. ANTECEDENTES	12
2.1 ESTRUVITA Y SULFATO DE AMONIO: PRODUCTOS RECUPERADOS Y SU APLICACIÓN	13
2.2 ESTRUVITA ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$)	13
2.3 SULFATO DE AMÓNIO ($(NH_4)_2SO_4$).....	13
3. OBJETIVOS:.....	14
3.1 OBJETIVO GENERAL	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	15
4.1 CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES	15
4.2 ALCANCE DE LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS.....	15
4.3 ESTIMACIÓN DEL RIESGO.....	16
4.3.1 VALORACIÓN DEL RIESGO	17
4.3.2 PLAN DE CONTROL DE RIESGOS	18
5. RESULTADOS	19
5.1 ANÁLISIS TÉCNICO-OPERATIVO DE LA PLANTA PILOTO DE EXTRACCIÓN DE ESTRUVTITA Y SULFATO DE AMONIO	19
5.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILOTO	20
5.1.2 ETAPAS DEL PROCESO	22

5.2	ESTIMACION DE LOS COSTO DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS	33
5.3	MEDIDAS PREVENTIVAS SIN COSTE ECONÓMICO	34
5.4	ANÁLISIS NORMATIVO Y PREVENTIVO OPERATIVO DE LA PLANTA PILOTO DE EXTRACCIÓN DE ESTRUVITA Y SULFATO DE AMONIO	35
5.4.1	BASE LEGAL DE LA EXENCIÓN.....	35
5.4.2	IMPLICACIONES PREVENTIVAS	35
6.	CONCLUSIONES	36
7.	AGRADECIMIENTOS.....	37
8.	REFERENCIAS.....	38
	Bibliografía	38
9.	ANEXOS	39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.-	Ubicación del Centro Tecnológico CARTIF	9
Ilustración 2.-	valoración de los riesgos ((INSST), 31/1997)	16
Ilustración 3.-	Estimación de los niveles de riesgo de acuerdo con su probabilidad estimada y a sus consecuencias esperadas. ((INSST), 31/1997).....	18
Ilustración 4.-	Distribución en planta	20
Ilustración 5.-	Diagrama de flujo del proceso de recuperación de estruvita y sulfato de amonio a partir de agua residual.....	21

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1.-	Alcance la Evaluación de Riesgos	19
Tabla 2.-	Riesgos presentes en la etapa Recepción y pretratamiento del agua residual .	22
Tabla 3.-	Riesgos presentes en la etapa operación del reactor de cristalización	24
Tabla 4.-	Riesgos presentes en la etapa Decantación centrífuga y separación sólido- líquido	26
Tabla 5.-	Riesgos presentes en la etapa granulación del lodo sólido de estruvita	28
Tabla 6.-	Riesgos presentes en la etapa extracción de amoníaco y producción de sulfato de amonio	29
Tabla 7.-	Riesgos presentes en la etapa almacenamiento y manipulación de reactivos químicos.....	31
Tabla 8.-	Riesgos presentes en la etapa supervisión y control de parámetros operativos desde el panel de monitoreo	32
Tabla 9.-	Costo de implantación de medidas preventivas específicas para la planta piloto de recuperación de nutrientes.....	33
Tabla 10.-	Medidas preventivas sin Coste.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.- Compresor	39
Anexo 2.- Decantador centrífuga	39
Anexo 3.- Los contenedores GRGs.....	40
Anexo 4.- Sistema de bombas y tuberías.....	40
Anexo 5.- Panel eléctrico o panel de control industrial.....	41
Anexo 6.- sistema de bombeo	41
Anexo 7.- Bombas de agua.....	42
Anexo 8.- El stripping y el scrubing	42
Anexo 9.- Panel eléctrico o cuadro de control	43
Anexo 10.- Extractor centrífugo.....	43
Anexo 11.- Contenedores de embarcaciones.....	44
Anexo 12.- Ficha de seguridad Cloruro de magnesio	45
Anexo 13.- Ficha de seguridad Sulfato de amonio	46
Anexo 14.- Ficha de seguridad Sulfato de Ácido sulfúrico	47
Anexo 15.- Ficha de seguridad Sulfato de Amoniaco en solución	48

1. INTRODUCCIÓN:

La recuperación de nutrientes a partir de aguas residuales se ha consolidado como una estrategia clave en el marco de la economía circular, al permitir el aprovechamiento de compuestos valiosos como el fósforo y el nitrógeno, que tradicionalmente se perdían en los procesos de depuración. En este contexto, la Fundación CARTIF ha desarrollado una planta piloto experimental para la extracción de estruvita y sulfato de amonio, ambos con potencial uso como fertilizantes, a partir de aguas residuales procedentes de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Valladolid.

La estruvita es un mineral blanco cristalino compuesto por fosfato de amonio y magnesio ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), que se forma bajo condiciones controladas de pH y concentración, y que destaca por su capacidad para liberar nutrientes de forma lenta, siendo especialmente útil en aplicaciones agrícolas. Por su parte, el sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) es una sal inorgánica ampliamente utilizada como fertilizante nitrogenado, que también puede recuperarse mediante procesos de separación química en medios ácidos.

Este tipo de instalaciones, al estar en fase experimental, representan un entorno con características específicas que requieren una atención especial en materia de seguridad y salud laboral. A diferencia de una planta industrial plenamente operativa, una planta piloto suele estar sujeta a condiciones variables, procesos en constante ajuste y manipulación directa por parte de los operarios o investigadores. Estas condiciones incrementan la probabilidad de que se generen situaciones de riesgo si no se implementan medidas preventivas adecuadas.

El presente Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo principal realizar una evaluación de riesgos laborales específica para la planta piloto, con el fin de identificar los peligros presentes, analizar los riesgos derivados de su operación, y proponer medidas preventivas y correctoras que permitan garantizar la seguridad de los trabajadores implicados. La evaluación se centrará en aquellos aspectos relacionados con la manipulación de sustancias químicas peligrosas, el uso de equipos a presión, la exposición a agentes físicos o atmosféricos (como vapores o atmósferas potencialmente explosivas), y otras condiciones que puedan afectar la seguridad en el entorno de trabajo.

Para llevar a cabo esta evaluación, se empleará una metodología cualitativa basada en las directrices del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), complementada por el análisis de normativas específicas aplicables al tipo de instalación y proceso involucrado. El objetivo final es contribuir al diseño de un entorno de trabajo más seguro, conforme con los principios de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y el Reglamento de los Servicios de Prevención (RD 39/1997), fortaleciendo además la cultura preventiva dentro de entornos de investigación aplicada.

1.1 MOTIVO DEL TRABAJO:

Este Trabajo Fin de Máster (TFM) corresponde a la fase final del Máster en Prevención de Riesgos Laborales, Calidad y Medio Ambiente de la Universidad de Valladolid. Su finalidad es aplicar los conocimientos adquiridos en un caso real, mediante la evaluación de riesgos laborales de una planta piloto de recuperación de estruvita y sulfato de amonio ubicado en la EDAR de Valladolid, realizado por la fundación CARTIF. La correcta detección de peligros facilita la adopción de medidas preventivas eficaces, permitiendo eliminar riesgos desde el origen o mantenerlos bajo control mediante medidas de protección adecuadas. Esta labor no solo contribuye a mejorar la seguridad de los trabajadores en la planta piloto, sino que también proporciona una base técnica sólida para el diseño seguro de futuras instalaciones.

1.2 ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LAS PRÁCTICAS

Durante el periodo de prácticas, llevé a cabo una serie de actividades técnicas y de análisis orientadas a la evaluación de riesgos laborales en la planta piloto de recuperación de estruvita y sulfato de amonio, instalada en el entorno de la EDA. Estas actividades me permitieron aplicar conocimientos teóricos en un entorno práctico y multidisciplinar, abordando tanto aspectos operativos del proceso como cuestiones vinculadas a la seguridad y salud en el trabajo.

En primer lugar, realicé un levantamiento técnico del proceso, identificando cada una de las etapas que conforman la planta piloto: desde la recepción y pretratamiento del agua residual, pasando por la cristalización, separación sólido-líquido, granulación del producto, hasta los sistemas de stripping y scrubbing para la recuperación del sulfato de amonio. Esto implicó analizar los flujos de entrada y salida, así como los equipos involucrados en cada fase. Posteriormente, elaboré un diagnóstico de condiciones laborales, centrado en la observación directa de tareas, revisión de fichas de seguridad de los productos químicos utilizados y evaluación de las condiciones físicas del entorno de trabajo. Con esta información, desarrollé una identificación de peligros y valoración de riesgos por cada etapa del proceso, utilizando una matriz cualitativa que consideró probabilidad, severidad y frecuencia de exposición. Además, participé en la clasificación de los insumos químicos, analizando sus riesgos para la salud y el medio ambiente, y propuse medidas de prevención para su almacenamiento y manipulación segura, de acuerdo con la normativa vigente y las fichas de datos de seguridad (FDS).

También elaboré una serie de fichas de evaluación de riesgos individuales, en las que registré los riesgos detectados, sus causas y las recomendaciones preventivas específicas. Estas fichas fueron organizadas de forma estructurada para facilitar su incorporación a futuros procedimientos operativos de la planta piloto. Finalmente, recopilé y analicé información normativa aplicable en materia de prevención de riesgos laborales, con el fin de asegurar que el análisis realizado se ajustara al marco legal vigente. Como resultado, propuse medidas de mejora tanto a nivel técnico como organizativo, orientadas a proteger la salud y seguridad de los trabajadores que participen en la operación de dicha planta.

1.3 UBICACIÓN DE LA EMPRESA

CARTIF se encuentra ubicada en el parque tecnológico de Boecillo, parcela 205, código postal 47151, Boecillo (Valladolid. España).



Ilustración 1.- Ubicación del Centro Tecnológico CARTIF

1.4 LUGAR DE REALIZACIÓN DE LAS PRACTICAS:

CARTIF es un centro de investigación aplicada, horizontal cuya principal misión es ofrecer soluciones innovadoras a las empresas para que estas puedan mejorar sus procesos, sistemas y productos, aumentando su competitividad y creando nuevas oportunidades de negocio. Jurídicamente es una fundación privada y sin ánimo de lucro, que surge en el año 1994 en la Universidad de Valladolid.

CARTIF desarrolla proyectos de I+D+i financiados directamente por las empresas o a través de fondos públicos conseguidos en convocatorias competitivas de ámbito nacional e internacional. CARTIF también asesora a administraciones públicas (ayuntamientos y gobiernos regionales), en la planificación y desarrollo de proyectos innovadores con elevado retorno económico.

El centro mantiene los mismos valores y objetivos con los que nació en 1994, siendo el principal el de contribuir al desarrollo de su entorno económico y social a través del uso y fomento de la innovación tecnológica, mediante el desarrollo y la difusión de la investigación.

CARTIF es un centro multidisciplinar que desarrolla su actividad en múltiples áreas de conocimiento enfocadas a casi todos los sectores económicos: energía, alimentación, industria, construcción e infraestructuras, salud y medioambiente, con líneas tecnológicas

que responden a los principales retos en cada uno de ellos, como la de redes inteligentes, Smart cities, eficiencia energética, patrimonio, calidad de vida, economía circular, recursos naturales y biotecnología.

CARTIF dispone de laboratorios que dan servicios de análisis al propio centro y externamente a través de una amplia oferta de ensayos en ámbitos como el Energético, Agroalimentario, Fabricación de Materiales o Digitalización 3D. Cuenta con laboratorios como los de Biocombustibles Sólidos y Materiales, los cuales han alcanzado la acreditación bajo estrictos sistemas de calidad.

1.5 TUTOR DE LA EMPRESA

Durante el periodo de las prácticas externas llevado a cabo en la Fundación CARTIF, tuve la oportunidad de estar bajo la supervisión del Dr. Jesús María Martín Marroquín, responsable del área de Prevención de Riesgos Laborales de la entidad. Su acompañamiento fue fundamental para adquirir una comprensión práctica de las funciones que desempeña un Técnico en Prevención en un entorno real de trabajo, especialmente dentro de una organización dedicada a la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación.

A lo largo de las semanas de formación, el Dr. Martín Marroquín me brindó no solo orientación técnica, sino también una visión crítica y estratégica de la gestión preventiva en entornos complejos y multidisciplinares. Gracias a su experiencia y disposición, pude participar activamente en actividades clave como inspecciones de seguridad, revisiones normativas, control de equipos e instalaciones, y especialmente en la evaluación de riesgos en entornos experimentales como la planta piloto de recuperación de estruvita y sulfato de amonio. Esta guía constante me permitió aplicar de forma rigurosa los conocimientos teóricos adquiridos durante el máster, desarrollando competencias técnicas esenciales para el ejercicio profesional en el ámbito de la Prevención de Riesgos Laborales.

1.6 TUTOR ACADÉMICO DE LAS PRACTICAS

Por parte de la universidad de Valladolid fue asignado como tutor académico el profesor Israel Diaz Villalobos, que es profesor del Máster en prevención de Riesgos Laborales, Calidad y Medio Ambiente.

1.7 JUSTIFICACIÓN:

La realización de la evaluación de riesgos laborales de la planta piloto de extracción de estruvita y sulfato de amonio responde a la responsabilidad que tiene la Fundación CARTIF como entidad diseñadora y operadora de esta instalación experimental. Conforme a lo establecido en la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, en su artículo 14, los trabajadores tienen derecho a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo. Esta obligación implica que el empleador, en este caso CARTIF, debe garantizar la seguridad y salud de las personas trabajadoras bajo su responsabilidad, mediante una

acción preventiva permanente, adaptada a la evolución de los riesgos y a la dinámica operativa de la instalación.

Asimismo, el artículo 15 de dicha ley, relativo a los principios de la acción preventiva, establece que el empresario debe evaluar aquellos riesgos que no se hayan podido evitar, y actualizar dicha evaluación siempre que se produzcan cambios relevantes en las condiciones de trabajo, los procesos o los equipos utilizados. En el caso específico de una planta piloto en fase de pruebas, donde los procesos y parámetros pueden variar, la evaluación de riesgos resulta aún más esencial, ya que permite anticiparse a posibles incidentes, establecer medidas de control eficaces y promover un entorno de trabajo seguro desde las primeras etapas de desarrollo tecnológico.

2. ANTECEDENTES

El tratamiento de aguas residuales está evolucionando rápidamente hacia un enfoque más integral, orientado no solo a la eliminación de contaminantes, sino también a la recuperación de recursos valiosos, tales como agua reutilizable, energía y nutrientes. Esta perspectiva se enmarca en los principios de la economía circular, cuyo objetivo es reducir el desperdicio y maximizar el aprovechamiento de los insumos utilizados en los procesos productivos (Cornel, 2009).

Entre los nutrientes presentes en las aguas residuales urbanas y agroindustriales, el fósforo y el nitrógeno son especialmente relevantes tanto por su valor como fertilizantes como por su potencial contaminante. La presencia excesiva de estos elementos en cuerpos receptores puede provocar fenómenos de eutrofización, deteriorando la calidad del agua y afectando los ecosistemas acuáticos. Por ello, su recuperación no solo es deseable desde el punto de vista económico, sino también desde el punto de vista ambiental y sanitario (Le Corre, 2009).

En este contexto, he orientado este proyecto hacia la evaluación de una planta piloto para la recuperación de estruvita y sulfato de amonio, dos productos que pueden obtenerse a partir de aguas residuales mediante tecnologías bien documentadas, pero aún poco implementadas en nuestra región. La estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) se forma por precipitación controlada en condiciones alcalinas, mediante la adición de magnesio, y permite capturar simultáneamente fósforo y amonio. Este material tiene un alto valor como fertilizante de liberación lenta (Etter, 2011). Por otro lado, el sulfato de amonio puede obtenerse mediante procesos de stripping del amoníaco disuelto en el agua, seguido de su absorción en ácido sulfúrico mediante un sistema de scrubbing, generando una solución fertilizante rica en nitrógeno (Maurer, 2003).

A pesar de los beneficios ambientales y agrícolas de estas tecnologías, su aplicación práctica a escala piloto o industrial requiere considerar múltiples factores de diseño y operación, entre los cuales la seguridad de los procesos resulta prioritaria. El uso de reactivos como hidróxido sódico, ácido sulfúrico y cloruro magnésico, combinado con la operación de equipos como reactores, decantadores centrífugos, bombas y soplantes, introduce riesgos físicos, químicos y ergonómicos que deben ser gestionados adecuadamente para proteger al personal técnico y garantizar la sostenibilidad del sistema (Ward, 2018).

Desde el punto de vista normativo, en países como Ecuador —y de manera general en América Latina—, la normativa en materia de seguridad industrial exige la identificación, evaluación y control de riesgos laborales en toda instalación donde se manipulen sustancias peligrosas o se utilicen equipos mecánicos o eléctricos (Ministerio del Trabajo del Ecuador, 2017). En este sentido, aplicar una metodología estructurada de evaluación de riesgos es indispensable tanto para cumplir con la normativa vigente como para diseñar protocolos de operación seguros, especialmente cuando se trabaja en ambientes experimentales o plantas piloto.

Además, experiencias previas en países europeos han demostrado que integrar el análisis de riesgos desde el diseño inicial de la planta mejora significativamente su eficiencia operativa y reduce los costos por accidentes, paradas técnicas o sustitución de equipos. Por ello, en este trabajo propongo un enfoque detallado y preventivo que contempla cada una de las etapas del proceso —desde la recepción del agua residual hasta la obtención final de productos fertilizantes— para identificar los riesgos asociados y proponer medidas preventivas específicas para cada situación.

2.1 ESTRUVITA Y SULFATO DE AMONIO: PRODUCTOS RECUPERADOS Y SU APLICACIÓN

La estruvita y el sulfato de amonio son compuestos de alto valor agronómico que pueden obtenerse a partir del tratamiento avanzado de aguas residuales. Ambos productos permiten valorizar nutrientes presentes en el efluente, especialmente fósforo y nitrógeno, contribuyendo así a una gestión más sostenible y circular de los recursos.

2.2 ESTRUVITA ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$)

La estruvita es un cristal blanco que se forma por la reacción entre magnesio, amonio y fosfato en condiciones controladas de pH y temperatura. Su recuperación se ha convertido en una solución eficiente para evitar incrustaciones en sistemas de tratamiento y, a su vez, generar un fertilizante sólido de liberación lenta. (Etter, 2011).

Aplicaciones principales:

- Fertilizante directo para cultivos agrícolas, especialmente hortícolas y frutales.
- Abono para suelos con deficiencia de fósforo o nitrógeno.
- Uso en agricultura ecológica por su baja solubilidad y bajo impacto ambiental.

Su fórmula química es:



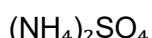
2.3 SULFATO DE AMÓNIO ($(NH_4)_2SO_4$)

El sulfato de amonio es una sal cristalina altamente soluble en agua, que se obtiene en la planta piloto mediante la captura del amoníaco gaseoso liberado tras un proceso de stripping del agua tratada. Este amoníaco reacciona con ácido sulfúrico, dando lugar a un fertilizante líquido o sólido rico en nitrógeno y azufre. (Maurer, 2003).

Aplicaciones principales:

- Fertilizante nitrogenado para cultivos como cereales, arroz y hortalizas.
- Mejora de suelos alcalinos gracias a su efecto ligeramente acidificante.
- Empleo en formulaciones de fertilizantes complejos y soluciones nutritivas para fertiirrigación.

Su fórmula química es:



3. OBJETIVOS:

A continuación, se exponen los objetivos establecidos para el desarrollo de la práctica curricular en la Fundación CARTIF, con el propósito de cumplir satisfactoriamente las tareas asignadas por el tutor de la entidad y adquirir competencias prácticas en el ámbito de la Prevención de Riesgos Laborales. Estos objetivos han sido definidos en coherencia con los contenidos del máster y las necesidades reales del entorno profesional en el que se han llevado a cabo las actividades.

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Realización de una Evaluación de riesgo de la operación de una planta piloto de extracción de estruvita y sulfato de amonio de las aguas residuales de la EDAR de Valladolid.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el proceso operativo de la planta piloto y las condiciones específicas de trabajo, con el fin de aplicar de forma adecuada las matrices de evaluación de riesgos y determinar los peligros asociados a cada fase del proceso.
- Identificar los peligros y evaluar los riesgos laborales presentes en cada fase del proceso, incluyendo el manejo de reactivos químicos, operación de maquinaria y tareas de mantenimiento.
- Clasificar los insumos utilizados de acuerdo con sus riesgos para la salud humana y el medio ambiente, y establecer medidas de prevención y control.
- Controlar los riesgos relacionados con la seguridad, Higiene y ergonomía asociados a la operación de equipos como bombas, compresor, decantador centrífugo, cristalizador, stripping, scrubbing y granuladora, mediante la implantación de las medidas técnicas y organizativas.
- Aplicar la normativa vigente en materia de PRL.

4. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

La presente evaluación de riesgos laborales se ha desarrollado conforme a la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, el Real Decreto 39/1997, y los criterios técnicos del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). El enfoque adoptado ha sido cualitativo, jerárquico y sistemático, adecuado para instalaciones experimentales como la planta piloto de recuperación de nutrientes a partir de aguas residuales.

El objetivo de esta metodología es identificar los peligros presentes en cada una de las etapas del proceso, valorar los riesgos asociados y proponer medidas preventivas y correctoras que garanticen condiciones de trabajo seguras.

La evaluación se ha estructurado en las siguientes etapas:

4.1 CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES

Con el objetivo de realizar una evaluación de riesgos eficaz, estructurada y alineada con los principios metodológicos del INSST, se ha considerado necesario dividir el proceso de la planta piloto en fases operativas diferenciadas. Esta clasificación permite identificar de forma específica los peligros inherentes a cada etapa del proceso, evaluar los riesgos asociados y establecer medidas preventivas adaptadas a las características técnicas y operativas de cada sección.

Dado que la planta piloto integra múltiples operaciones interdependientes y el uso de diversos equipos e insumos químicos, la clasificación por fases operativas permite una evaluación más precisa y organizada de los riesgos laborales presentes en cada etapa del proceso. Este enfoque facilita la identificación individualizada de peligros, la priorización de riesgos según su naturaleza y la aplicación eficaz de medidas preventivas específicas, lo que contribuye a una gestión más eficiente de la seguridad en el entorno experimental.

Las actividades se han clasificado en las siguientes fases:

1. Recepción y pretratamiento del agua residual.
2. Reactor de cristalización.
3. Decantador centrífugo y separación sólido-líquido.
4. Granuladora de platos.
5. Extracción y recuperación de sulfato de amonio.
6. Sistema de bombeo y agitación.
7. Almacenamiento de reactivos químicos (GRGs).
8. Zona de control y monitoreo.

4.2 ALCANCE DE LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

La identificación de peligros se realizó mediante:

- Observación directa de las instalaciones.
- Análisis de procedimientos operativos.
- Revisión de fichas de datos de seguridad (FDS).
- Consultas técnicas con el personal responsable de PRL.

Se identificaron riesgos de tipo:

- **Químico:** manipulación de NaOH, ácido sulfúrico, cloruro magnésico, vapores de NH₃.
- **Mecánico:** puntos de atrapamiento en bombas, centrífugas y granuladora.
- **Eléctrico:** conexiones en bombas, resistencias, paneles de control.
- **Físico:** ruido, calor, presión, atmósferas húmedas.
- **Ergonómico:** manipulación de cargas, posturas prolongadas.
- **Ambiental:** riesgo de derrames, emisiones, reacciones indeseadas.

4.3 ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Actualmente se reconoce que la evaluación de riesgos es la base para una gestión activa de la seguridad y la salud en el trabajo. De hecho, la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, que traspone la Directiva Marco 89/391/CEE Para cada peligro identificado, se estimó el nivel de riesgo en base a dos factores:

- **Probabilidad de ocurrencia** (baja, media, alta).
- **Gravedad de las consecuencias** (ligera, dañina, extremadamente dañina).

Se aplicó la siguiente matriz de riesgo:

		Niveles de riesgo		
		Consecuencias		
		Ligeramente Dañino LD	Dañino D	Extremadamente Dañino ED
Probabilidad	Baja B	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media M	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I
	Alta A	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I	Riesgo intolerable IN

Ilustración 2.- valoración de los riesgos ((INSST), 31/1997)

4.3.1 VALORACIÓN DEL RIESGO

Los riesgos se clasificaron según su nivel y se les asignó una acción de control en base a la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales :

- **Trivial:** sin necesidad de medidas adicionales.
- **Tolerable:** mantener medidas existentes y supervisar.
- **Moderado:** aplicar mejoras preventivas en plazo razonable.
- **Importante:** medidas inmediatas antes de continuar.
- **Intolerable:** cesar la actividad hasta que el riesgo sea eliminado o reducido.

Los niveles de riesgos indicados en el cuadro anterior forman la base para decidir si se requiere mejorar los controles existentes o implantar unos nuevos, así como la temporización de las acciones. En la siguiente tabla se muestra un criterio sugerido como punto de partida para la toma de decisión. La tabla también indica que los esfuerzos precisos para el control de los riesgos y la urgencia con la que deben adoptarse las medidas de control deben ser proporcionales al riesgo. ((INSST), 31/1997)

RIESGO	ACCIÓN Y TEMPORIZACIÓN PARA LAS CORREGIR O MINIMIZAR EL RIESGO
Riesgo trivial (T)	No se requiere de una acción específica.
Riesgo tolerable (TO)	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar las soluciones más rentables que no supongan un gasto económico importante.
Riesgo moderado (MO)	Se deben realizar acciones para reducir el riesgo, realizando las inversiones precisas, estas medidas deben implantarse en un tiempo determinado. Cuando el riesgo moderado está determinado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará de acciones posteriores para que sea más preciso establecer la probabilidad real de daño para determinar las mejores de las medias de control que se deben tomar.

Riesgo importante (I)	No se debe empezar la tarea a realizar hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que sea necesario recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse de forma más apresurada que los riesgos moderados.
Intolerable (IN)	No se debe comenzar a trabajar ni continuar con él hasta que el riesgo sea reducido o eliminado. Si no es posible reducir el riesgo contando con recursos ilimitados, se debe prohibir el trabajo en esa área.

Ilustración 3.- Estimación de los niveles de riesgo de acuerdo con su probabilidad estimada y a sus consecuencias esperadas. ((INSST), 31/1997)

4.3.2 PLAN DE CONTROL DE RIESGOS

El resultado de una evaluación de riesgos debe servir para hacer un inventario de acciones, con el fin de diseñar, mantener o mejorar los controles de riesgos. Es necesario contar con un buen procedimiento para planificar la implantación de las medidas de control que sean precisas después de la evaluación de riesgos.

Los métodos de control deben escogerse teniendo en cuenta los siguientes principios:

- Combatir los riesgos en su origen
- Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, así como a la elección de los equipos y métodos de trabajo y de producción, con miras, en particular a atenuar el trabajo monótono y repetitivo y a reducir los efectos de este en la salud.
- Tener en cuenta la evolución de la técnica.
- Sustituir lo peligroso por lo que entrañe poco o ningún peligro
- Adoptar las medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.
- Dar las debidas instrucciones a los trabajadores. ((INSST), 31/1997)

5. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología de evaluación de riesgos establecida por el INSST a cada una de las fases operativas de la planta piloto. La evaluación permitió identificar los principales peligros presentes en las distintas etapas del proceso, estimar el nivel de riesgo asociado a cada uno y proponer medidas preventivas y/o correctoras orientadas a su control. Los resultados se han organizado por actividad, con el fin de facilitar el análisis y priorización de las intervenciones necesarias para garantizar condiciones de trabajo seguras y conforme a la normativa vigente.

EQUIPO	LOCALIZACIÓN	NÚMERO DE TRABAJADORES EXPUESTOS	AREA DE TRABAJO
Planta piloto de Extracción de estruvita y sulfato de amonio	EDAR Valladolid	2	Recuperación de nutrientes

Tabla 1.- Alcance la Evaluación de Riesgos

5.1 ANÁLISIS TÉCNICO-OPERATIVO DE LA PLANTA PILOTO DE EXTRACCIÓN DE ESTRUVITA Y SULFATO DE AMONIO

El objetivo principal de la planta piloto es recuperar y valorizar nutrientes presentes en aguas residuales, concretamente fósforo y nitrógeno, mediante procesos fisicoquímicos controlados, con el fin de obtener productos de interés agrícola como la estruvita y el sulfato de amonio.

Esta instalación experimental tiene como finalidad validar, a escala piloto, tecnologías sostenibles que permitan:

- La precipitación selectiva de estruvita mediante ajuste de pH y adición de cloruro magnésico y NaOH.
- La extracción del amoníaco residual a través de procesos de stripping y scrubbing, generando sulfato de amonio como subproducto aprovechable.
- La reducción de la carga contaminante de las aguas tratadas y su posterior aprovechamiento.
- La conversión de residuos en fertilizantes, promoviendo la economía circular en el ámbito del tratamiento de aguas residuales.

Además, al tratarse de una planta piloto ubicada en un entorno de investigación aplicada, también persigue optimizar parámetros de operación, evaluar la eficiencia de los procesos, y generar conocimiento técnico que pueda ser extrapolado a plantas a escala industrial.

5.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILOTO

La planta piloto instalada en las instalaciones de la EDAR de Valladolid ha sido diseñada para llevar a cabo el proceso de recuperación de nutrientes a partir de aguas residuales, específicamente fósforo y nitrógeno, mediante la obtención de estruvita y sulfato de amonio como productos finales con valor fertilizante.

Se trata de una planta de carácter experimental, utilizada para validar procesos a escala reducida, optimizar condiciones de operación y analizar la viabilidad técnica y ambiental de su escalado industrial. La instalación trabaja con agua residual procedente de la EDAR de Valladolid, y combina operaciones de tipo químico, físico y mecánico.

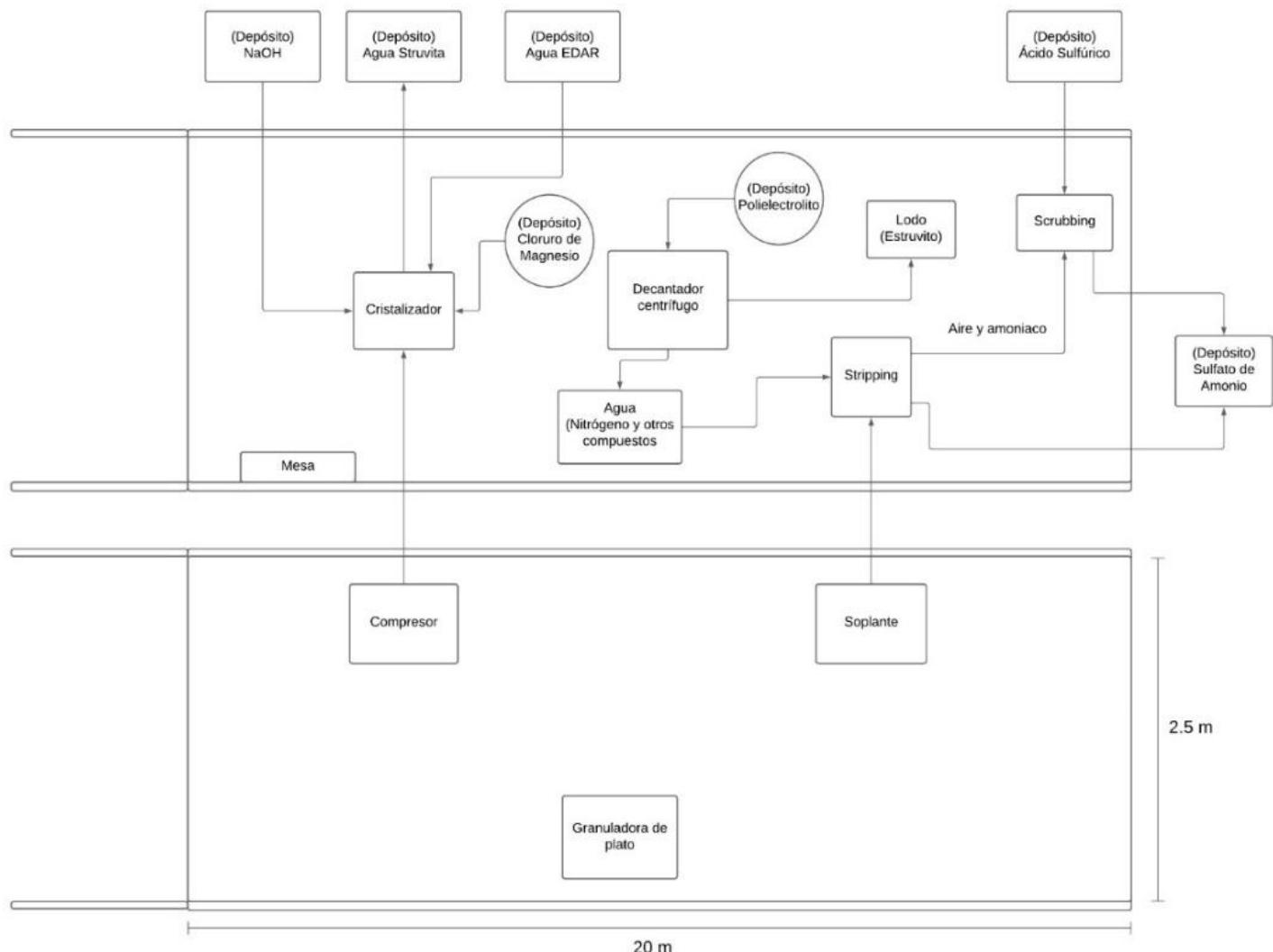


Ilustración 4.- Distribución en planta

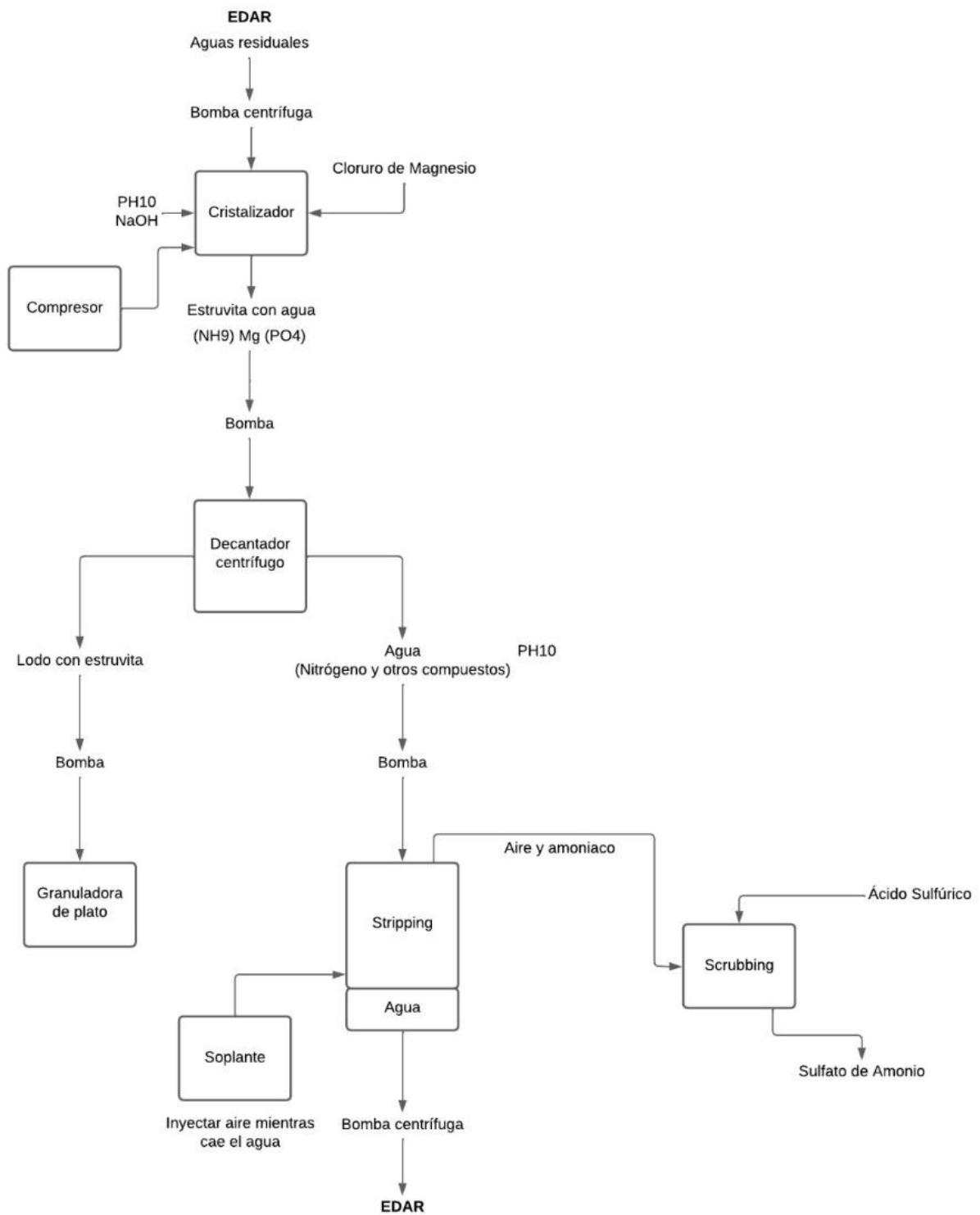


Ilustración 5.- Diagrama de flujo del proceso de recuperación de estruvita y sulfato de amonio a partir de agua residual

5.1.2 ETAPAS DEL PROCESO

5.1.2.1 RECEPCIÓN DEL AGUA RESIDUAL

El agua residual es conducida desde la EDAR hasta un depósito pulmón donde se almacena hasta su uso posterior en la etapa de cristalización.

 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES				 Universidad de Valladolid	FECHA 1/7/2025	PUESTO DE TRABAJO: Planta piloto de
					SECCIÓN: Tratamiento de aguas residuales	NÚM. DE TRAB.: 1
TAREA REALIZADA: Recepción y pretratamiento del agua residual						
RIESGOS	VALORACIÓN			CAUSAS	MEDIDAS PREVENTIVAS	
	P	S	R		RECOMENDADAS	
Caída de personas al mismo nivel	M	LD	TO	Presencia de agua residual en el suelo (superficies mojadas y resbalosas)	Instalar alfombrillas antideslizantes o rejillas. Uso de calzado antideslizante. Señalización de áreas húmedas. - Mantenimiento periódico del área.	
Exposición a agentes biológicos	M	LD	TO	Manipulación de agua residual sin protección adecuada	Uso obligatorio de guantes, gafas y mascarilla. Lavado de manos tras el contacto. Vacunación preventiva (según protocolos).	
Contacto con sustancias químicas (residuos del agua)	B	D	TO	Salpicaduras al momento de transferir el agua desde el EDAR	Protección ocular y facial. Uso de delantal impermeable. Carga del agua a baja presión	
Riesgo ergonómico (posturas forzadas)	B	LD	TO	Posiciones incómodas al revisar el depósito pulmón	Ajustar altura de registros y válvulas. Capacitación en manipulación manual de cargas.	

Tabla 2.- Riesgos presentes en la etapa Recepción y pretratamiento del agua residual

Durante la evaluación de riesgos de la etapa de recepción del agua residual, se identificaron principalmente peligros derivados de la presencia de agua en el suelo, lo que puede provocar caídas al mismo nivel. También se detectaron riesgos biológicos asociados a la manipulación directa del agua residual sin protección adecuada. Las medidas preventivas propuestas incluyeron el uso de calzado antideslizante, señalización de áreas húmedas, y el uso obligatorio de equipos de protección personal como guantes, gafas y mascarilla, además del lavado de manos y la vacunación preventiva cuando sea pertinente.

5.1.2.2 REACTOR DE CRISTALIZACIÓN

El agua residual se impulsa con una bomba centrifuga que alimenta el cristalizador. Aquí se lleva a cabo la formación de estruvita, mediante la adición de cloruro magnésico y hidróxido sódico (NaOH) 1 molar.

Para la agitación del cristalizador se utilizará un compresor que impulsará aire a través unos difusores de aire ubicados en su parte central.

El cristalizador lleva sensores de temperatura, presión, pH y conductividad.

 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES				 Universidad de Valladolid	FECHA 1/7/2025	PUESTO DE TRABAJO: Planta piloto de SECCIÓN: Tratamiento de aguas residuales			
TAREA REALIZADA: Operación del reactor de cristalización									
RIESGOS	VALORACIÓN			CAUSAS	MEDIDAS PREVENTIVAS				
	P	S	R		RECOMENDADAS				
Contacto con productos químicos	M	D	I	Salpicaduras durante la dosificación manual o fugas en las líneas de alimentación	Uso obligatorio de guantes, gafas y mascarilla. Dosificación con sistemas cerrados. Revisión periódica de tuberías y conexiones.				
Quemaduras químicas	B	G	I	Exposición accidental al hidróxido sódico	Disposición de ducha de emergencia y lavabojos. Señalización de peligros químicos. Supervisión continua durante la dosificación.				
Golpes o cortes	B	LD	TO	Contacto accidental con bordes del cristalizador o válvulas metálicas	Redondear los bordes metálicos expuestos. Uso de guantes de protección mecánica. Orden y señalización del área de trabajo				
Ruido excesivo (por el compresor)	M	LD	TO	Funcionamiento constante del compresor de aire	Uso de protectores auditivos. Mantenimiento preventivo del compresor. Insonorización parcial del equipo si es posible.				
Riesgo eléctrico	B	D	TO	Mal estado del cableado o conexiones del sistema de control (sensores, bombas, compresor)	Inspecciones periódicas por técnico electricista. Conexión a tierra y disyuntores diferenciales. No manipular con manos húmedas.				

Tabla 3.- Riesgos presentes en la etapa operación del reactor de cristalización

En la etapa de operación del reactor de cristalización, se identificó un abanico más amplio de riesgos debido a la interacción con productos químicos (hidróxido sódico y cloruro magnésico), maquinaria, y equipos eléctricos. Los principales riesgos evaluados incluyeron:

- Contacto con productos químicos, con medidas preventivas como el uso de guantes, gafas y sistemas cerrados de dosificación.
- Quemaduras químicas, con disposición de duchas de emergencia y señalización adecuada.
- Golpes o cortes por contacto con bordes metálicos del reactor.
- Ruido excesivo generado por el compresor, para lo cual se recomendó el uso de protectores auditivos y mantenimiento preventivo.
- Riesgo eléctrico por mal estado de cableado o manipulación de sensores, y
- Caídas a distinto nivel durante el acceso a partes superiores del equipo.

Estas observaciones permitieron establecer medidas correctivas y preventivas adecuadas para garantizar una operación segura y conforme a la normativa vigente, destacando la necesidad de señalización, mantenimiento, y formación continua del personal que interviene en estas fases del proceso.

5.1.2.3 DECANTADOR CENTRÍFUGO Y SEPARACIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO

La estruvita cristalizada se separa del agua mediante centrifugación, generando un lodo sólido y agua con alto contenido de nitrógeno. Para la operación del decantador centrífugo se utilizará electrolito comercial adicionado mediante una bomba peristáltica.

 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES				 Universidad de Valladolid	FECHA: 1/7/2025	PUESTO DE TRABAJO: Planta piloto de
					SECCIÓN: Tratamiento de aguas residuales	NÚM. DE TRAB.: 1
TAREA REALIZADA: Decantación centrífuga y separación sólido-líquido						
RIESGOS	VALORACIÓN			CAUSAS	MEDIDAS PREVENTIVAS RECOMENDADAS	
	P	S	R			
Atrapamiento por partes móviles del decantado	B	G	I	Contacto accidental con elementos durante mantenimiento o limpieza	Proteger los elementos móviles con resguardos. No intervenir mientras el equipo esté en marcha. Bloqueo y señalización durante mantenimiento.	
Contacto con productos químicos (electrolito)	M	D	I	Manipulación de la bomba peristáltica sin EPP, salpicaduras o fugas	Uso de guantes de nitrilo, gafas y bata de laboratorio. Manipulación con bomba automática. Verificación de estanqueidad antes del uso.	
Ruido excesivo	M	LD	TO	Operación del decantador a altas revoluciones	Uso de protectores auditivos. Verificación de estado del equipo (vibraciones anormales)	
Riesgo eléctrico	B	D	TO	Cableado defectuoso o conexiones flojas en motor, sensores y bomba	Inspección periódica por personal autorizado. Toma a tierra y sistemas de protección diferencial. Protección IP adecuada contra salpicaduras	
Resbalones por derrames de lodo o agua residual	M	LD	TO	Derrame en la zona de descarga del lodo o manipulación de bombas	Limpieza inmediata de derrames. Señalización de zonas húmedas. Suelos antideslizantes y uso de botas de seguridad.	

Tabla 4.- Riesgos presentes en la etapa Decantación centrífuga y separación sólido-líquido

En esta etapa, los riesgos identificados se relacionan principalmente con el manejo de equipos en movimiento y la exposición a reactivos químicos, especialmente al utilizar polielectrolitos para facilitar la separación sólido-líquido. Se evaluaron riesgos por proyecciones de lodos o residuos, así como la posibilidad de atrapamientos en partes móviles del decantador. Las medidas preventivas incluyeron el uso de EPI adecuados (guantes, gafas, bata impermeable), revisiones mecánicas periódicas, y señalización de zonas de riesgo. Además, se destacó la necesidad de sistemas de enclavamiento y protección de partes giratorias.

5.1.2.4 GRANULADORA DE PLATOS

El lodo sólido de estruvita es granulado para facilitar su uso agrícola.

 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES			 Universidad de Valladolid		FECHA	PUESTO DE TRABAJO:
					1/7/2025	SECCIÓN: Tratamiento de aguas residuales
TAREA REALIZADA: Granulación del lodo sólido de estruvita						
RIESGOS	VALORACIÓN			CAUSAS	MEDIDAS PREVENTIVAS RECOMENDADAS	
	P	S	R			
Proyección de partículas sólidas	M	LD	TO	Generación de polvo o fragmentos durante la granulación	Uso de gafas de seguridad con protección lateral. Mascarilla contra polvo. Cierre parcial del sistema para evitar salidas directas.	
Inhalación de partículas finas	M	D	I	Exposición prolongada al polvo de estruvita	Ventilación forzada o localizada. Uso obligatorio de mascarilla con filtro adecuado	
Ruido por maquinaria en funcionamiento	M	LD	TO	Giro del plato y vibraciones del motor	Uso de protectores auditivos. Aislamiento acústico si el nivel supera los 80 dB(A).	

Tabla 5.- Riesgos presentes en la etapa granulación del lodo sólido de estruvita

En esta fase, el riesgo predominante está relacionado con la exposición a polvo de estruvita durante la operación de granulación, lo cual puede generar molestias respiratorias o irritaciones oculares. También se identificaron riesgos mecánicos derivados de partes móviles de la granuladora y posibles ruidos por vibración mecánica. Se propusieron medidas preventivas como el uso de mascarillas con filtro, protección ocular, protectores auditivos y barreras físicas en torno a zonas móviles. Se recomendó además establecer protocolos de limpieza periódica para evitar la acumulación de polvo en el área de trabajo.

5.1.2.5 EXTRACCIÓN Y RECUPERACIÓN DEL SULFATO DE AMONIO

El agua con alto contenido de nitrógeno es conducida mediante una bomba centrífuga a equipo de estripping donde se realiza la desorción de amoníaco (NH₄), mediante la aplicación de aire a 40 C con un soplante que incorpora una resistencia eléctrica

El amoniaco desprendido es conducido a un equipo de scrubing donde reacciona con ácido sulfúrico al 50% para formar sulfato de amonio. El ácido sulfúrico es añadido mediante una bomba peristáltica.

Ambos equipos llevan sensores de temperatura, conductividad y pH

El sulfato de amonio resultante del proceso será conducido a un depósito GRG de 1000 L, a través de una bomba centrífuga.

 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES				 Universidad de Valladolid	FECHA	PUESTO DE TRABAJO: Planta piloto de	
					1/7/2025	SECCIÓN: Tratamiento de aguas residuales	NÚM. DE TRAB.: 1
TAREA REALIZADA: Extracción de amoníaco y producción de sulfato de amonio							
RIESGOS	VALORACIÓN			CAUSAS	MEDIDAS PREVENTIVAS RECOMENDADAS		
	P	S	R				
Inhalación de gases tóxicos (amoníaco)	M	G	I	Fugas en la columna de stripping o conducción hacia el scrubbing	Sistema cerrado y hermético. Detección automática de amoniaco (NH ₃). Uso de mascarilla con cartucho químico adecuado. Ventilación forzada.		
Quemaduras químicas por ácido sulfúrico	B	G	I	Salpicaduras durante la dosificación con bomba peristáltica	Uso de EPP: guantes resistentes a ácidos, gafas integrales y delantal químico. Añadir el ácido lentamente y desde sistema cerrado. Ducha de emergencia y lavaojos cerca del área.		
Riesgo térmico	B	D	TO	Conexiones eléctricas en bombas, sensores, soplante y resistencias	Señalización térmica. Aislamiento térmico de los componentes. No intervenir sin que el sistema esté apagado y enfriado.		
Riesgo eléctrico	B	D	TO	en bombas, sensores, soplante y resistencias	Protección IP adecuada. Disyuntores y puesta a tierra. Botón de paro de emergencia visible.		
Proyección de líquidos químicos	B	G	I	Ruptura de manguera o error en la conexión de la bomba	Revisión de estado de tuberías antes del uso. Controles visuales durante la operación. Uso de cubetos de contención.		
Sobrecarga o mal funcionamiento del soplante	B	LD	TO	Exceso de temperatura o flujo de aire	Mantenimiento preventivo. Monitoreo de presión y temperatura. Parada automática por sensor en caso de fallo.		

Tabla 6.- Riesgos presentes en la etapa extracción de amoníaco y producción de sulfato de amonio

Esta etapa involucra procesos químicos complejos y generación de gases, por lo que se evaluaron riesgos críticos asociados a la exposición a amoníaco (NH_3) y a la manipulación de ácido sulfúrico al 50 %. También se identificaron riesgos eléctricos (por bombas y resistencias), y de presión o temperatura (por los sensores integrados). Las medidas preventivas incluyeron ventilación forzada, uso de trajes químicos, detección de gases, y manejo seguro de reactivos corrosivos con bombas dosificadoras y contención secundaria. Se consideró además el riesgo de reacción química descontrolada, mitigable mediante automatización y control continuo de variables como pH y temperatura.

5.1.2.6 ALMACENAMIENTO DE REACTIVOS (GRGS)

Los insumos químicos se almacenan en recipientes GRG ubicados sobre cubetos de retención, lo que permite contener derrames.

 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	 Universidad de Valladolid	FECHA	PUESTO DE TRABAJO: Planta piloto de		
		1/7/2025	SECCIÓN: Tratamiento de aguas residuales		
TAREA REALIZADA: Almacenamiento y manipulación de reactivos químicos					
RIESGOS	VALORACIÓN			CAUSAS	
	P	S	R		
Inhalación de vapores químicos	B	G	I	Evaporación de productos como ácido sulfúrico o NaOH en zonas mal ventiladas	Almacenamiento en áreas ventiladas. Uso de mascarilla con filtro químico adecuado. Cierre hermético de los GRGs tras cada uso
Quemaduras químicas	B	G	I	Salpicaduras durante el llenado, traspase o mantenimiento de mangueras	Uso obligatorio de guantes resistentes, gafas y delantal. Equipos de emergencia próximos (ducha/lavaojos). No llenar manualmente sin bomba dosificadora
Riesgo de incendio por sustancias inflamables	B	G	I	Presencia de productos químicos inadecuadamente etiquetados o expuestos a fuentes de calor	Almacenamiento alejado de fuentes térmicas y eléctricas. Control de temperatura ambiental. Extintores clase B y kits anti-derrames.

Tabla 7.- Riesgos presentes en la etapa almacenamiento y manipulación de reactivos químicos

En esta etapa, los riesgos se concentraron en el almacenamiento de sustancias peligrosas en grandes volúmenes. Se identificó la posibilidad de derrames accidentales, mezclas incompatibles y contacto directo con sustancias corrosivas o irritantes. Las medidas preventivas se basaron en la implementación de cubetos de retención, señalización clara, fichas de datos de seguridad disponibles en sitio, y separación de productos según su clase de peligrosidad. También se recomendó capacitar al personal en procedimientos de actuación ante fugas y dotar el área con material absorbente y kits de contención de emergencia.

5.1.2.7 ZONA DE CONTROL Y MONITOREO

El proceso está supervisado desde un panel de control con sensores de pH, presión, temperatura y caudal.

Cada uno de los equipos tiene su propio cuadro de control, donde se controlan cada uno de los parámetros del proceso correspondiente.

 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	 Universidad de Valladolid	FECHA 1/7/2025	PUESTO DE TRABAJO: Planta piloto de SECCIÓN: Tratamiento de aguas residuales		
TAREA REALIZADA: Supervisión y control de parámetros operativos desde el panel de monitoreo					
RIESGOS	VALORACIÓN			CAUSAS	MEDIDAS PREVENTIVAS RECOMENDADAS
	P	S	R		
Fatiga visual y postural	M	LD	TO	Supervisión prolongada frente a pantallas en posición estática	ausas activas cada 45–60 min. Silla ergonómica y altura adecuada de la pantalla. Iluminación indirecta y no reflectiva.
Estrés	B	LD	TO	Presión por tomar decisiones en tiempo real ante anomalías	Definición clara de protocolos de actuación. Distribución de turnos y apoyo entre operadores. Registro automático de eventos para revisión posterior

Tabla 8.- Riesgos presentes en la etapa supervisión y control de parámetros operativos desde el panel de monitoreo

Aunque esta etapa no implica una exposición directa a productos peligrosos ni a maquinaria en movimiento, se evaluaron riesgos asociados a fallos del sistema de control, exposición prolongada a pantallas (fatiga visual y postural), y la posibilidad de una respuesta inadecuada ante alarmas o situaciones anormales. Las medidas preventivas incluyeron la ergonomía del puesto de control, pausas activas, buena iluminación ambiental, y la capacitación constante del personal en interpretación de datos, protocolos de respuesta ante fallos y uso de equipos de protección colectiva en caso de intervención técnica.

5.2 ESTIMACION DE LOS COSTO DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS

MEDIDAS PREVENTIVAS	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD	COSTO TOTAL (€)	FECHA DE IMPLANTACIÓN	RESPONSABLE DE IMPLANTAR LAS MEDIDAS	FIRMA DEL RESPONSABLE
Guantes resistentes químicos y mecánicos	2 pares	18,00 €	36.0	Antes de la puesta en marcha	Jefe de proyecto	
Botas de seguridad con suela antideslizante	2 pares	25,00 €	50.0	Antes de la puesta en marcha	Jefe de proyecto	
Mascarillas de protección químicos (FFP3)	4 unidades	8,50 €	34.0	Antes de la puesta en marcha	Jefe de proyecto	
Pantallas faciales / Gafas de protección	4 unidades	12,00 €	48.0	Antes de la puesta en marcha	Jefe de proyecto	
Señalización de zonas peligrosas	6 unidades	10,00 €	60.0	Antes de la puesta en marcha	Jefe de proyecto	
Alfombra o revestimiento antideslizante	2 metros	30,00 €	60.0	Antes de la puesta en marcha	Jefe de proyecto	
Resguardos fijos en equipos rotativos (centrifuga)	1 unidad	160,00 €	160.0	Antes de la puesta en marcha	Jefe de proyecto	
Protección acústica (orejeras)	2 unidades	20,00 €	40.0	Antes de la puesta en marcha	Jefe de proyecto	
Etiquetado de productos químicos y tuberías	1 lote	40,00 €	40.0	Antes de la puesta en marcha	Jefe de proyecto	
TOTAL			528.00 €			

Tabla 9.- Costo de implantación de medidas preventivas específicas para la planta piloto de recuperación de nutrientes.

5.3 MEDIDAS PREVENTIVAS SIN COSTE ECONÓMICO

MEDIDAS PREVENTIVAS	RESPONSABLE DE REALIZAR LA MEDIDA PREVENTIVA	FIRMA DEL RESPONSABLE
Mantener el área de trabajo ordenada y libre de obstrucciones.	Operadores de la planta piloto.	
Supervisar el correcto uso de EPI por parte del personal.	Jefe de proyecto.	
Controlar visualmente las conexiones de bombas y mangueras antes del arranque.	Operadores de la planta piloto.	
Verificar el correcto funcionamiento del sistema de ventilación en la zona de stripping y scrubbing.	Jefe de mantenimiento.	
Limitar el acceso a las zonas de operación durante el funcionamiento de equipos.	Operadores de la planta piloto.	
Revisar visualmente los niveles de los depósitos de reactivos químicos.	Operadores de la planta piloto.	
Registrar incidencias o anomalías observadas en el sistema de control.	Jefe de proyecto.	
Comprobar la correcta colocación de protecciones móviles en la centrífuga.	Operadores de la planta piloto.	

Tabla 10.- Medidas preventivas sin Coste

5.4 ANÁLISIS NORMATIVO Y PREVENTIVO OPERATIVO DE LA PLANTA PILOTO DE EXTRACCIÓN DE ESTRUVITA Y SULFATO DE AMONIO

Todos los componentes y equipos individuales que forman parte de la planta piloto de recuperación de estruvita y sulfato de amonio cuentan con su correspondiente marcado CE, su declaración de conformidad y, en su caso, su manual de instrucciones, conforme a lo exigido por el Reglamento (UE) 2023/1230 sobre máquinas (antes Directiva 2006/42/CE) y por la normativa nacional de trasposición.

Sin embargo, es importante destacar que la planta como conjunto integrado no requiere estar sujeta al proceso formal de marcado CE, debido a su carácter de instalación piloto de investigación. Esta exención está recogida explícitamente en el Real Decreto 1644/2008, que regula la comercialización y puesta en servicio de máquinas en España.

5.4.1 BASE LEGAL DE LA EXENCIÓN

El Real Decreto 1644/2008, en su artículo 1, apartado 3, letra h), establece que el presente Real Decreto no se aplicará a:

“Las máquinas especialmente diseñadas y fabricadas con vistas a la investigación, para uso temporal en laboratorios.”

Por tanto, dado que la planta piloto de CARTIF ha sido diseñada, construida y utilizada con fines exclusivamente experimentales, no se le exige el marcado CE como equipo completo, siempre y cuando no se destine a comercialización ni a uso industrial permanente. No obstante, esto no exime al titular o diseñador de garantizar unas condiciones de seguridad adecuadas, lo que justifica la realización de una evaluación de riesgos previa a su operación.

5.4.2 IMPLICACIONES PREVENTIVAS

Aunque exenta del marcado CE como conjunto, la instalación debe:

- Asegurar que todos los equipos incluidos sí posean el marcado CE individual.
- Garantizar el uso seguro del sistema mediante una evaluación de riesgos completa.
- Aplicar medidas preventivas que aseguren la protección de los trabajadores, conforme a la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y al RD 39/1997 (Reglamento de los Servicios de Prevención).

6. CONCLUSIONES

Como resultados del presente trabajo, se logró cumplir de manera efectiva con el objetivo general planteado: realizar una evaluación de riesgos laborales aplicada a la operación de una planta piloto destinada a la extracción de estruvita y sulfato de amonio, utilizando como fuente las aguas residuales procedentes de la EDAR de Valladolid.

En primer lugar, se efectuó un análisis detallado del proceso operativo de la planta, lo cual permitió comprender la secuencia técnica de las etapas involucradas, los equipos empleados y las condiciones específicas de trabajo asociadas a cada fase. A partir de este diagnóstico, fue posible aplicar correctamente la matriz de evaluación de riesgos y contextualizar los peligros según la naturaleza de las operaciones desarrolladas en el entorno piloto.

Asimismo, se identificaron los principales peligros y riesgos laborales presentes en cada fase del proceso, prestando especial atención al manejo de reactivos químicos (como hidróxido sódico, ácido sulfúrico y cloruro magnésico), al funcionamiento de maquinaria como bombas, compresores, decantadores y cristalizadores, y a las tareas asociadas al mantenimiento rutinario. Esta identificación fue acompañada de una valoración sistemática de cada riesgo, considerando la probabilidad de ocurrencia, el nivel de exposición y la gravedad del posible daño.

Otro aspecto clave del trabajo fue la clasificación de los insumos químicos utilizados, los cuales fueron analizados en función de su peligrosidad para la salud humana y el medio ambiente. A partir de esta clasificación, se propusieron medidas específicas de prevención, contención y protección personal, orientadas a minimizar los riesgos derivados del almacenamiento y manipulación de dichos productos.

Además, se abordaron los riesgos vinculados a la seguridad, higiene y ergonomía, principalmente relacionados con la operación continua de equipos electromecánicos y las condiciones del entorno físico de trabajo. Para ello, se plantearon recomendaciones técnicas y organizativas como la instalación de sistemas de parada de emergencia, señalización, ventilación, uso de EPIs y formación del personal.

Finalmente, todo el análisis se desarrolló en coherencia con la normativa vigente en prevención de riesgos laborales, garantizando que las medidas propuestas cumplan con los principios de seguridad y salud aplicables a instalaciones experimentales o de investigación. En conjunto, el estudio aportó una visión integral de los riesgos presentes en la operación de la planta piloto, y sentó las bases para establecer una gestión preventiva sólida, adaptada al contexto específico del proyecto y a sus fines investigativos y medioambientales.

7. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios, por darme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional. Sin Su guía y presencia constante, nada de esto habría sido posible.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Fundación CARTIF por brindarme la oportunidad de realizar mis prácticas curriculares en un entorno profesional e innovador, permitiéndome aplicar mis conocimientos en un proyecto real de investigación y desarrollo tecnológico.

En particular, deseo agradecer al Dr. Jesús María Martín Marroquín, Responsable de Prevención de Riesgos Laborales, por su constante disposición, orientación y por compartir conmigo su experiencia durante todo el proceso formativo. Asimismo, extiendo mi agradecimiento al Dr. Israel Diaz Villalobos, tutor académico en la Universidad de Valladolid, por su acompañamiento, supervisión y valiosas recomendaciones durante la elaboración de este Trabajo Fin de Máster.

En el plano personal, quiero dedicar un reconocimiento especial a mis abuelas Teresa y Rosa, a mis padres Genaro Suarez y Isabel Defaz, a mi hermana Dariana y a mis tíos, por su amor incondicional, por su apoyo constante y por haber creído siempre en mí.

También deseo agradecer a mis compañeros del máster Carolina, Mariana, Daniela, Natalia, Diego y Víctor Hugo, por su amistad, compañerismo y colaboración a lo largo de esta etapa académica. Su apoyo ha sido fundamental tanto en lo académico como en lo humano.

Finalmente, a Fernando y Edith, gracias por estar siempre presentes, por su ánimo permanente y por acompañarme en cada paso con confianza y cercanía.

A todos, gracias por formar parte de este logro.

8. REFERENCIAS

Bibliografía

- (INSST), I. N. (31/1997). Guía técnica del INSST. Evaluación de riesgos laborales. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Cornel, P. &. (2009). Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs. *Water Science and Technology*, 1069–1076.
- Etter, B. T. (2011). Low-cost struvite production using source-separated urine in Nepal. *Water Research*, 852–862.
- Le Corre, K. S.-J. (2009). Phosphorus recovery from wastewater by struvite crystallization: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 433–477.
- Maurer, M. S. (2003). Nutrients in urine: energetic aspects of removal and recovery. *Water Science and Technology*, 37–46.
- Ministerio del Trabajo del Ecuador. (2017). Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo. Acuerdo Ministerial No. MDT-2017-0135.
- Ward, A. J. (2018). Nutrient recovery from wastewater through pilot scale electrodialysis. *Water Research*, 57–65.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. (Estatuto básico en el marco legal PRL en España).
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. Boletín Oficial del Estado.
- Real Decreto 1644/2008, que regula la comercialización y puesta en servicio de máquinas en España.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entraña riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10.

9. ANEXOS



Anexo 1.- Compresor



Anexo 2.- Decantador centrífuga



Anexo 3.- Los contenedores GRGs



Anexo 4.- Sistema de bombas y tuberías



Anexo 5.- Panel eléctrico o panel de control industrial



Anexo 6.- sistema de bombeo



Anexo 7.- Bombas de agua



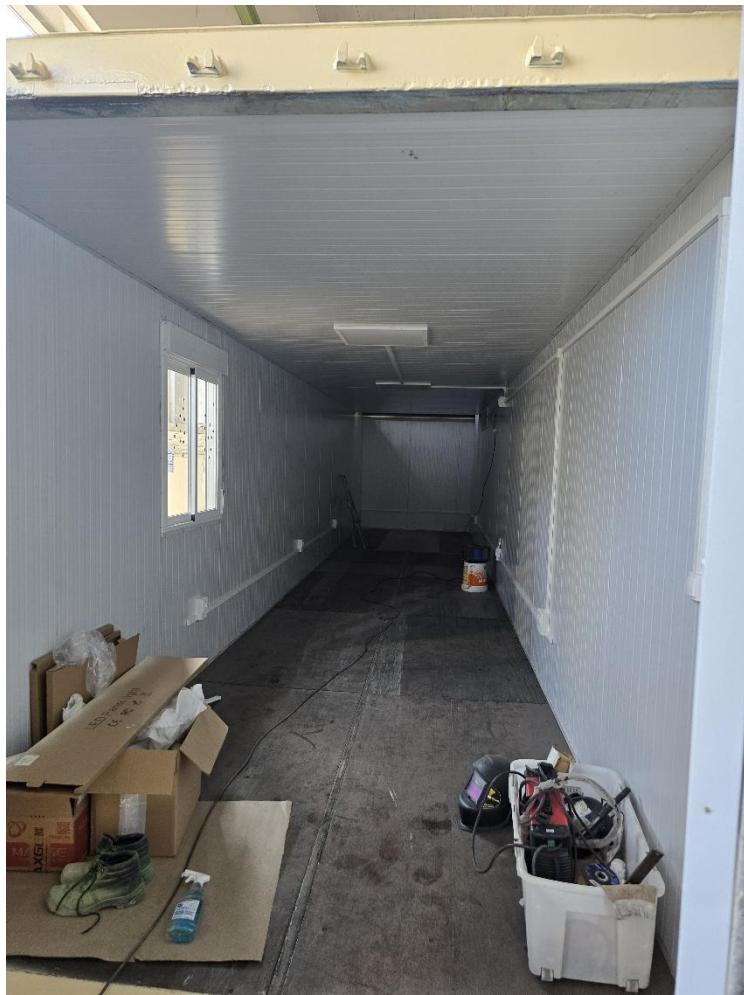
Anexo 8.- El stripping y el scrubing



Anexo 9.- Panel eléctrico o cuadro de control



Anexo 10.- Extractor centrífugo



Anexo 11.- Contenedores de embarcaciones

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Cloruro de magnesio ≥99 %, anhidro

número de artículo: KK36

Versión: 4.1 es

Reemplaza la versión de: 02.03.2024

Version: (4)

fecha de emisión: 17.09.2015

Revisión: 20.08.2024

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador de producto

Identificación de la sustancia	Cloruro de magnesio ≥99 %, anhidro
Número de artículo	KK36
Número de registro (REACH)	01-2119485597-19-xxxx
Número CE	232-094-6
Número CAS	7786-30-3

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos pertinentes identificados:	Producto químico de laboratorio Uso analítico y de laboratorio
Usos desaconsejados:	No utilizar para propósitos privados (domésticos). Alimentos, bebidas y piensos.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Carl Roth GmbH + Co. KG
Schoenperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
Alemania

Teléfono: +49 (0) 721 - 56 06 0
Fax: +49 (0) 721 - 56 06 149
e-mail: sicherheit@carlroth.de
Sitio web: www.carlroth.de

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad: Department Health, Safety and Environment

e-mail (persona competente): sicherheit@carlroth.de

Proveedor (importador): QUIMIVITA PRODUCTS S.L.
Balmes, 245 6^a planta
08006 Barcelona
+34 932 380 094
-
quimivita@quimivita.com
www.quimivita.es

1.4 Teléfono de emergencia

Nombre	Calle	Código postal/ciudad	Teléfono	Sitio web
Servicio de Información Toxicológica (SIT)		28232 Madrid	+34 91 562 0420	https://www.mujerjusticia.gob.es/es/institucional/organismos/instituto-nacional/servicios/servicio-informacion

Anexo 12.- Ficha de seguridad Cloruro de magnesio

Información de seguridad voluntaria apoyándose en el formato de ficha de datos de seguridad conforme al Reglamento (CE) n.º 1907/2006 (REACH)



Sulfato de amonio ≥99%, cristalino

número de artículo: 9218

Versión: 4.1 es

Reemplaza la versión de: 03.03.2024

Versión: (4)

fecha de emisión: 27.09.2016

Revisión: 18.09.2024

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador de producto

Identificación de la sustancia	Sulfato de amonio ≥99%, cristalino
Número de artículo	9218
Número de registro (REACH)	01-2119455044-46-XXXX
Número CE	231-984-1
Número CAS	7783-20-2

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos pertinentes identificados:	Producto químico de laboratorio Uso analítico y de laboratorio
Usos desaconsejados:	No utilizar para propósitos privados (domésticos). Alimentos, bebidas y piensos.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Carl Roth GmbH + Co. KG
Schoemperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
Alemania

Teléfono: +49 (0) 721 - 56 06 0
Fax: +49 (0) 721 - 56 06 149
e-mail: sicherheit@carlroth.de
Sitio web: www.carlroth.de

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad: Department Health, Safety and Environment

e-mail (persona competente): sicherheit@carlroth.de

Proveedor (importador): QUIMIVITA PRODUCTS S.L.
Balmes, 245 6^a planta
08006 Barcelona
+34 932 380 094

quimivita@quimivita.com
www.quimivita.es

1.4 Teléfono de emergencia

Nombre	Calle	Código postal/ciudad	Teléfono	Sitio web
Servicio de Información Toxicológica (SIT)		28232 Madrid	+34 91 562 0420	https://www.mjjusticia.gob.es/es/institucional/organismos/instituto-nacional/servicios/servicio-informacion

Anexo 13.- Ficha de seguridad Sulfato de amonio

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE



Ácido sulfúrico ROTIPURAN® 96 %, p.a., ISO

número de artículo: 4623

Versión: 7.0 es

Reemplaza la versión de: 04.03.2024

Versión: (6)

fecha de emisión: 15.10.2015

Revisión: 19.09.2024

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador de producto

Identificación de la sustancia

Ácido sulfúrico ROTIPURAN® 96 %, p.a., ISO

Número de artículo

4623

Número de registro (REACH)

01-2119458838-20-xxxx

Número de clasificación del anexo VI del CLP

016-020-00-8

Número CE

231-639-5

Número CAS

7664-93-9

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos pertinentes identificados:

Producto químico de laboratorio
Uso analítico y de laboratorio

Usos desaconsejados:

No utilizar para inyección o dispersión. No utilizar en productos que son destinados para el contacto directo con la piel. No utilizar para propósitos privados (domésticos). Alimentos, bebidas y piensos.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Carl Roth GmbH + Co. KG

Schoemperlenstr. 3-5

D-76185 Karlsruhe

Alemania

Teléfono: +49 (0) 721 - 56 06 0

Fax: +49 (0) 721 - 56 06 149

e-mail: sicherheit@carloth.de

Sitio web: www.carloth.de

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad:

Department Health, Safety and Environment

e-mail (persona competente):

sicherheit@carloth.de

Proveedor (importador):

QUIMIVITA PRODUCTS S.L.

Balmes, 245 6^a planta

08006 Barcelona

+34 932 380 094

-

quimivita@quimivita.com

www.quimivita.es

1.4 Teléfono de emergencia

Nombre	Calle	Código postal/ciudad	Teléfono	Sitio web
Servicio de Información Toxicológica (SIT)		28232 Madrid	+34 91 562 0420	https://www.mujer.gob.es/es/institucional/organismos/instituto-nacional/servi

Anexo 14.- Ficha de seguridad Sulfato de Ácido sulfúrico

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE



Amoníaco en solución ROTIPURAN® ≥25 %, p.a.

número de artículo: 6774

Versión: 4.0 es

Reemplaza la versión de: 09.04.2024

Versión: (3)

fecha de emisión: 11.08.2021

Revisión: 21.09.2024

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador de producto

Identificación de la sustancia	Amoníaco en solución ROTIPURAN® ≥25 %, p.a.
Número de artículo	6774
Número de registro (REACH)	no pertinente (mezcla)
Número de clasificación del anexo VI del CLP	[007-001-01-2]
Número CE	[215-647-6]
Número CAS	[1336-21-6]
Identificador único de la fórmula (UFI)	MU21-K0QG-Q007-FG82

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos pertinentes identificados:	Producto químico de laboratorio Uso analítico y de laboratorio
Usos desaconsejados:	No utilizar para inyección o dispersión. No utilizar en productos que son destinados para el contacto directo con la piel. No utilizar para propósitos privados (domésticos). Alimentos, bebidas y piensos.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Carl Roth GmbH + Co. KG
Schoemperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
Alemania

Teléfono:+49 (0) 721 - 56 06 00
Fax: +49 (0) 721 - 56 06 149
e-mail: sicherheit@carlroth.de
Sitio web: www.carlroth.de

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad: Department Health, Safety and Environment

e-mail (persona competente): sicherheit@carlroth.de

Proveedor (importador): QUIMIVITA PRODUCTS S.L.
Balmes, 245 6º planta
08006 Barcelona
+34 932 380 094
-
quimivita@quimivita.com
www.quimivita.es

1.4 Teléfono de emergencia

Nombre	Calle	Código postal/ciudad	Teléfono	Sitio web
Servicio de Información Toxicológica (SIT)		28232 Madrid	+34 91 562 0420	https://www.mujer.gob.es/institucional/or

Anexo 15.- Ficha de seguridad Sulfato de Amoniaco en solución