

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Implementación de sistema de ventilación localizada aplicado al equipo electrospinning para la gestión de emisiones de solventes en el laboratorio de biomateriales

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero en Prevención
de Riesgos Laborales y Ambientales

Alumna

Macarena Alejandra Santander Espinoza

Profesor Guía

Rodrigo Domínguez Carmona



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Implementación de sistema de ventilación localizada aplicado al equipo electrospinning para la gestión de emisiones de solventes en el laboratorio de biomateriales

Nombre del candidato(a): Macarena Alejandra Santander Espinoza

Carrera / Grado: Ingeniería en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales

Campus: Viña del Mar Departamento: Prevención de Riesgos

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Rodrigo Domínguez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 16 oct 2025

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 10/10/2025

Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

KEYWORDS: SOLVENTES ORGANICOS, ELECTROSPINNING, SISTEMA DE VENTILACIÓN.

Este proyecto abordó la implementación de un sistema de ventilación localizada para controlar las emisiones de solventes orgánicos generados durante el proceso de electrospinning en el laboratorio de biomateriales de la USM. La técnica de electrospinning, clave para producir nanofibras con aplicaciones biomédicas, utiliza solventes como acetona, dimetilformamida (DMF), cloroformo, tolueno, n-hexano, diclorometano y éter dietílico, los cuales representan riesgos para la salud de los investigadores y el medio ambiente debido a su toxicidad y alta volatilidad. Antes de la implementación del proyecto, el laboratorio carecía de un sistema adecuado para gestionar estas emisiones, lo que limitó tanto la seguridad como el avance de las investigaciones.

El trabajo se desarrolló en tres etapas principales:

Caracterización de solventes: Se evaluaron propiedades fisicoquímicas de siete solventes orgánicos (toxicidad, inflamabilidad, presión de vapor) con base en SDS y normativas (ACGIH, OSHA, DS 594, Decreto 57 alineado con el SGA). Se identificaron los solventes DMF, cloroformo, diclorometano como críticos mediante el Índice de Exposición, lo que evidenció la necesidad de controles inmediatos.

Implementación del sistema de ventilación: Como parte del diseño se estimó el caudal por extraer de 32.18 m³/h., a partir de las velocidades propuestas por ACGIH de 0.6 m/s de la campana y 0.5 m/s del electrospinning, se seleccionó extractor centrífugo, ducto de PVC resistente, y filtro de carbón activado, con lo que se pudo implementar satisfactoriamente el sistema.

Evaluación económica: La inversión estimada es de \$4,320,000 CLP y los costos anuales de operación \$2.258.400 CLP. Los indicadores de rentabilidad del proyecto (TIR=18%; VAN=981,793 CLP) se estimaron basados en ahorros de enfermedades profesionales por ausencia de sistema de ventilación. Pese al costo, los beneficios en seguridad laboral, cumplimiento normativo y sostenibilidad justifican la implementación.

El proyecto no solo entrega una solución técnica fundamentada, sino que también humaniza la ingeniería al priorizar la protección de los investigadores y la sostenibilidad ambiental. La implementación del sistema permitirá operar en condiciones seguras, cumplir con normativas y ampliar las capacidades del laboratorio para trabajar con solventes de alto rendimiento. Además, se destacan las implicaciones prácticas del diseño, como la reducción de riesgos laborales y la facilitación de futuras investigaciones en biomateriales.

ÍNDICE

GLOSARIO DE TÉRMINOS

INTRODUCCIÓN.....	1
FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO	3
OBJETIVOS.....	5
CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA.....	11
1.1 ANTECEDENTES UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA.....	11
1.2 ANTECEDENTES DEL LABORATORIO DE BIOMATERIALES	15
1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	17
1.4 LINEAS DE INVESTIGACIÓN	18
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO	20
2.1 SISTEMA DE VENTILACIÓN	20
2.1.1 Ventilación general.....	21
2.1.2 Ventilación localizada.....	22
2.2 FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE ELECTROSPINNING.....	24
2.3 VARIABLES DEL ELECTROSPINNING.....	26
2.3.1 Variables operacionales	27
2.3.2 Variables ambientales	28
2.3.3 Variables de la solución.....	29
2.4 POLIMEROS PARA ELECTROSPINNING	30
2.5 TIPOS DE POLÍMEROS UTILIZADOS EN ELECTROSPINNING:.....	31
2.5.1 Polímeros sintéticos	31
2.5.2 Polímeros naturales	32
2.6 SOLVENTES ORGANICOS UTILIZADOS EN ELECTROSPINNING	33
2.6.1 Acetona	33
2.6.2 Dimetilformamida (DMF)	34
2.6.3 Cloroformo	35
2.6.4 Tolueno.....	36
2.6.5 N-Hexano.....	37
2.6.6 Diclorometano.....	38
2.6.7 Éter dietílico	39

2.7 CARACTERIZACIÓN DE SOLVENTES ORGANICOS EN EL PROCESO DE ELECTROSPINNING	40
CAPITULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN	45
3.1 REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE VENTILACIÓN	45
3.1.1 Flujo de aire	45
3.1.2 Velocidad mínima de aire	46
3.1.3 Filtros HEPA, de carbón activado u otros sistemas	46
3.1.4 Normativa nacional e internacional	47
3.1.5 Control de emisiones de solventes orgánicos	48
3.2 UNIDADES DE EXTRACCIÓN	51
3.2.1 Criterios de selección	51
3.2.2 Análisis de alternativas	51
3.2.3 Descripción del equipo de extracción	52
3.3 FILTROS Y DISPOSITIVOS DE CAPTURA DE VAPORES	53
3.3.1 Requisitos críticos	53
3.3.2 Filtros y monitoreo	54
3.4 MATERIALES DE CONDUCTOS Y ACCESORIO	55
3.4.1 Materiales	55
3.4.2 Selección de materiales	55
3.4.3 Selección de piping	56
3.5 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Y MONITOREO	57
3.5.1 Equipos seleccionados	57
3.5.2 Componentes clave	57
CAPITULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA	60
4.1 BASES PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA	60
4.1.1 Tasa de impuesto	60
4.1.2 Tipo de cambio	60
4.1.3 Tasa de descuento (10 – 12%)	61
4.1.4 Depreciación (Lineal)	61
4.1.5 Indicadores	62
4.1.6 Horizonte de evaluación (5 años)	62
4.2 ESTIMACIÓN DE LOS INGRESOS (Estimación de beneficios)	63
4.3 ESTIMACIÓN DE LOS EGRESOS	63
4.3.1 Costos de inversión	64

4.3.2 Costos de operación.....	65
4.4 FLUJO DE CAJA.....	66
CAPITULO 5: MEMORIA DE CÁLCULO.....	68
5.1 ESTIMACIÓN DE CANTIDAD DE SOLVENTES UTILIZADOS.....	68
5.1.1 Estimación de cantidad de acetona	68
5.1.2 Estimación de cantidad de dimetilformamida (DMF)	71
5.1.3 Estimación de cantidad de cloroformo	72
5.1.4 Estimación de cantidad de tolueno.....	72
5.1.5 Estimación de cantidad de diclorometano (DCM)	74
5.2 ESTIMACIÓN RIESGO HIGIÉNICO.....	75
5.3 BALANCE DE MATERIALES	78
5.4 SISTEMA DE VENTILACIÓN	79
5.4.1 Ventilación localizada (Electrospinning)	80
5.4.2 Ventilación localizada (Campana)	81
5.4.3 Ventilación Laboratorio.....	82
5.4.4 Ventilación total	82
5.5 COSTO DE BENEFICIO	83
5.6 COSTO DE CONSUMO.....	84
5.6.1 Costo consumo eléctrico	84
5.6.2 Recambio de filtros	85
5.6.3 Mantenimiento ventilación.....	85
CONCLUSIÓN	87
REFERENCIAS	89
ANEXO	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Imagen satelital del Centro de Biotecnología “Dr. Daniel Alkalay Lowitt”	17
Figura 1.2 Imagen de la red social del Centro de Biotecnología “Dr. Daniel Alkalay Lowitt”	18
Figura 2.1 Electrospinning	26
Figura 3.1 Sistema de ventilación	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2 Solventes orgánicos	40
Tabla 2-2 Análisis de parámetros	41
Tabla 2-3 Estimación de cantidades en un aforo de 100 mL para cada solvente	41
Tabla 2-4 Estimación de tiempo	42
Tabla 2-5 Concentraciones promedio ponderada de los solventes	42
Tabla 2-6 Interpretación de valores	43
Tabla 2-7 Estimación riesgo higiénico con IE.....	43
Tabla 3-1 Rango de velocidad de aire recomendado para el tipo de emisión	46
Tabla 3-2 Filtros recomendados según el tipo de solvente y riesgo asociado.....	47
Tabla 3-3 Tipos principales de equipos para control de emisiones de solventes orgánicos	48
Tabla 3-4 Comparativa de sistemas de ventilación y filtración: ventajas, limitaciones y aplicabilidad.....	50
Tabla 3-5 Criterios de selección con respecto a los caudales	51
Tabla 3-6 Comparativa de ventiladores y extractores	52
Tabla 3-7 Comparación de materiales para ductos.....	56
Tabla 4 Costos estimados de inversión.....	64
Tabla 4-1 Costos estimados de operación	66
Tabla 5 Resumen de cálculo de cantidad.....	75
Tabla 5-2 Cantidad de solventes obtenidos con la Ecuación 15	76
Tabla 5-3 Concentración promedio ponderada	77
Tabla 5-4 Estimación riesgo higiénico con IE obtenida de la Ecuación 17	77
Tabla 5-5 Valores para el balance de materiales	78

Tabla 5-6 Resultados obtenidos de la Ecuación 18	78
Tabla 5-7 Resultados obtenidos de la Ecuación 19	79
Tabla 5-8 Resultados obtenidos de la Ecuación 20	79
Tabla 5-9 Resumen sistema de ventilación	83
Tabla 5-10 Resumen costo consumo	86

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Densidad del solvente	69
Ecuación 2. Densidad de la solución	69
Ecuación 3. Masa de la solución	69
Ecuación 4. Masa del soluto	70
Ecuación 5. Masa de disolventes	70
Ecuación 6. Masa de DMF	70
Ecuación 7. Masa de acetona.....	70
Ecuación 8. Volumen de acetona.....	71
Ecuación 9. Volumen de DMF	71
Ecuación 10. Volumen de cloroformo.....	72
Ecuación 11. Masa de la solución	73
Ecuación 12. Masa del tolueno.....	73
Ecuación 13. Volumen de tolueno.....	74
Ecuación 14. Volumen de DCM.....	74
Ecuación 15. Cantidad de los solventes.....	75
Ecuación 16. Concentración promedio ponderada	76
Ecuación 17. Índice de exposición	77
Ecuación 18. Masa del solvente.....	78
Ecuación 19. Generación de masa.....	79
Ecuación 20. Caudal requerido.....	79
Ecuación 21. Área de apertura del equipo electrospinning	80
Ecuación 22. Caudal por extraer del equipo electrospinning	80
Ecuación 23. Área de apertura de la campana.....	81
Ecuación 24. Caudal por extraer de la campana.....	81
Ecuación 25. Caudal de ventilación general del laboratorio	82

Ecuación 26. Caudal total del sistema	82
Ecuación 27. Costo de beneficio	83
Ecuación 28. Costo consumo.....	84
Ecuación 29. Costos por el recambio de filtros anual	85
Ecuación 30. Costo mantenimiento anual	86

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Electrospinning (Hilado electrostático): Técnica que utiliza un campo eléctrico para producir fibras ultrafinas a partir de soluciones poliméricas o fundidos, con aplicaciones en biomateriales, filtros y textiles.

Nanofibras: Fibras con diámetros en escala nanométrica (1–100 nm), producidas mediante electrospinning, con alta relación superficie/volumen.

Scaffolds: Estructuras porosas basadas en nanofibras utilizadas en ingeniería de tejidos para soportar el crecimiento celular.

Solventes orgánicos (SO): Compuestos químicos (líquidos) que disuelven sustancias, como acetona o DMF, empleados en procesos industriales y de laboratorio.

Ventilación localizada: Sistema que captura contaminantes directamente en la fuente de emisión (ej: campanas extractoras).

Ventilación general: Sistema que renueva el aire ambiental en un espacio para diluir contaminantes.

Carbón activado: Material adsorbente utilizado en filtros para retener vapores orgánicos y gases tóxicos.

Cono de Taylor: Formación cónica de líquido cargado eléctricamente en la boquilla durante el electrospinning, previo a la formación de fibras.

SGA (Sistema Globalmente Armonizado): Sistema internacional para clasificar y comunicar los peligros de los productos químicos

Índice de Exposición (IE): Relación entre la concentración ambiental de un contaminante y su límite permisible ($IE > 1$ indica riesgo inaceptable).

CPP (Concentración Promedio Ponderada): Nivel de exposición a un contaminante considerando tiempo y concentración en distintas etapas del proceso.

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): Organización que establece estándares de exposición ocupacional (ej: TLV).

OSHA (Occupational Safety and Health Administration): Agencia estadounidense que regula seguridad laboral.

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Institución que investiga riesgos laborales y emite recomendaciones (REL).

DS 594 (Decreto Supremo 594, Chile): Norma que regula condiciones sanitarias y ambientales en lugares de trabajo.

DS 148 (Decreto Supremo 148, Chile): Norma sobre emisiones de contaminantes al aire.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers): Asociación que establece estándares para sistemas de ventilación.

VOC (Volatile Organic Compounds): Compuestos orgánicos volátiles, como solventes, que se evaporan fácilmente.

HEPA (High-Efficiency Particulate Air): Filtros que retienen partículas, pero no gases (ineficaces para solventes).

VAN (Valor Actual Neto): Diferencia entre beneficios y costos descontados a valor presente.

TIR (Tasa Interna de Retorno): Rentabilidad porcentual anual de una inversión.

TLV (Threshold Limit Value): Límite de exposición ocupacional recomendado por ACGIH.

INTRODUCCIÓN

El electrospinning (hilado electrostático de fibras) es un método moderno y eficiente que utiliza el campo eléctrico para la producción de fibras finas que nos permite la fabricación de estructuras porosas y versátiles denominadas scaffolds organizadas por unidades de nanofibras (Molfino, Alcalde-Yañez, Valverde-Morón & Villanueva-Salvatierra, 2020). La técnica de electrospinning o electrohilado, ha sido ampliamente estudiada durante los últimos años gracias a la posibilidad de crear fibras en escala micro y nanométrica para una gran variedad de aplicaciones biomédicas, esta técnica aporta a los elementos desarrollados diversas características como: amplia superficie por unidad de área, porosidad y una serie de propiedades mecánicas, siendo atractiva a nivel biotecnológico. La técnica es versátil y de fácil ensamble lo que ha permitido procesar una gran variedad de polímeros, integrando en los últimos años otras clases de materiales, sin embargo, durante el desarrollo del proceso existen una serie de variables que influyen en las características de los elementos obtenidos, ya sea porque están ligadas a las características del material base o porque su desempeño está relacionado con otros parámetros dentro del proceso (Sanchez, Rodriguez & López, 2013). Un polímero es una gran molécula construida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples. En algunos casos la repetición es lineal, de forma semejante a como una cadena la forman sus eslabones. En otros casos las cadenas son ramificadas o interconectadas formando retículos tridimensionales. La unidad repetitiva del polímero es usualmente equivalente o casi equivalente a un monómero o material de partida del que se forma el polímero (Billmeyer, 2020). Las soluciones de polímeros son, obviamente, mezclas líquidas de largas cadenas de polímeros y pequeñas moléculas de disolvente. Ellas juegan un papel muy importante en el campo del estudio y la aplicación de polímeros desde dos puntos de vista; en primer lugar, las soluciones poliméricas se utilizan para caracterizar la estructura de múltiples polímeros mediante técnicas como viscosimetría, cromatografía de exclusión molecular (SEC o GPC) y dispersión de luz, entre otras. En segundo lugar, los polímeros en solución son utilizados para controlar las propiedades reológicas y la estabilidad de múltiples sistemas comerciales; como, por ejemplo, pinturas, productos farmacéuticos, alimentos y producción de crudo. Dependiendo de la estructura química los polímeros pueden ser: solubles en agua, dispersables en agua, solubles en disolventes orgánicos o dispersables en disolventes orgánicos (Fernández, 2003).

Un solvente orgánico (SO) es un compuesto, generalmente líquido, que contiene carbono y que posee la característica de disolver otras sustancias. A nivel industrial, son utilizados en operaciones de disolución de reactivos, extracción, lavado y separación de mezclas, además son empleados en laboratorios de docencia universitaria. A pesar de sus múltiples aplicaciones, la mayor parte de los solventes orgánicos son altamente volátiles, influyendo en la contaminación del aire y agua, así como en la salud de las personas. (Mora-Barrantes, Morera-Ramos, Ulate-Salas,

Núñez-Agüero, Acuña-Salazar & Cordero-Carvajal, 2022). Los compuestos orgánicos volátiles (COVs), a veces llamados VOC (por sus siglas en inglés), son compuestos orgánicos constituidos fundamentalmente por carbono, que se convierten fácilmente en vapor o gas y que tienen a 20° C una presión de vapor igual o mayor a 0,01 kPas, o una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso. (Sánchez Montero 2009)

En un laboratorio, cuando los estudiantes o investigadores realizan experimentos, se exponen sin saberlo a disolventes volátiles que tienen un gran efecto (adverso) en la salud. La gravedad del efecto adverso varía según el tipo de exposición y su duración. Los efectos no deseados de los disolventes volátiles de laboratorio a veces son irreversibles y pueden causar problemas potencialmente mortales. (Syamitra, Parasuraman, Yeng, Ping, Thujithra, Kumar & Dhanaraj, 2014). Los disolventes orgánicos son conocidos como disolventes basados en carbono y sus propiedades generales se basan principalmente en su volatilidad, punto de ebullición, peso molecular y color. Dado los enormes peligros asociados a los disolventes orgánicos, que se utilizan para millones de propósitos, es necesario que reflexionemos más sobre sus puntos de toxicidad. Casi todos los disolventes son peligrosos para la salud si se ingieren o inhalan en una cantidad superior al límite establecido, y la mayoría provoca irritación en contacto con la piel. Los investigadores, científicos y trabajadores de la industria química y de los institutos de investigación utilizan estos disolventes regularmente, lo que les afecta en gran medida. Pero también las personas cercanas se ven afectadas por la contaminación del suelo, el agua, el aire, etc. La exposición constante a los disolventes afectará gravemente la función del sistema nervioso central (SNC) y de otras partes del cuerpo. El nivel de impacto, los signos y los síntomas dependerán de la concentración, el tiempo, la duración, la frecuencia y la naturaleza de los disolventes, lo que provocará efectos comunes como dolores de cabeza, mareos, cansancio, visión borrosa, cambios de comportamiento, pérdida del conocimiento e incluso la muerte (Joshi & Adhikari, 2019). En prevención de riesgos laborales la ventilación es una herramienta que permite mantener unas condiciones de trabajo seguras y saludables reduciendo o eliminando los contaminantes ambientales generados en el lugar de trabajo. Si además el aire de ventilación se climatiza permite trabajar en condiciones confortables (Farras & Martinez, 2010).

El objetivo del sistema de ventilación general de un laboratorio es controlar los contaminantes en el aire por debajo de las concentraciones que puedan ser preocupantes, manteniendo al mismo tiempo un ambiente confortable. (Stuart, Sweet & Batchelder, 2015). La importancia de disponer de aire limpio y sin contaminar en el ambiente de trabajo industrial es bien conocida.

La industria moderna, con su complejidad de operaciones y procesos, utiliza un número creciente de sustancias y preparados químicos muchos de los cuales poseen una elevada toxicidad. El empleo de dichos materiales puede dar a lugar a que en el ambiente de trabajo estén presentes, en concentraciones que excedan los niveles de seguridad, partículas, gases, vapores y/o nieblas. El estrés térmico puede también originar

ambientes de trabajos inseguros o incómodos. Una ventilación eficaz y bien diseñada ofrece una solución a estas situaciones, en las que se requiere la protección del trabajador. La ventilación puede también ser útil para controlar olores, humedad y otras condiciones ambientales indeseables. Se emplean dos tipos generales de sistemas de ventilación: Los sistemas de IMPULSIÓN se utilizan para impulsar aire, habitualmente templado, a un local de trabajo. Los sistemas de EXTRACCIÓN se emplean para eliminar los contaminantes generados por alguna operación, con la finalidad de mantener un ambiente de trabajo saludable (López Sandoval, 2013).

FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO

Actualmente, el laboratorio de biomateriales dispone de un equipo de electrospinning para la fabricación de fibras y estructuras poliméricas con aplicaciones biomédicas y tecnológicas. No obstante, adolece de un sistema de ventilación adecuado que permita gestionar de manera controlada los solventes orgánicos tóxicos, esenciales tanto para la operación del equipo como para la preparación de soluciones poliméricas.

Esta carencia no solo reduce el uso de solventes con propiedades químicas más eficientes, sino que también da por hecho un riesgo relevante para la salud del equipo y la observancia de las normativas vigentes en materia de seguridad, higiene y medio ambiente. La manipulación de estas sustancias sin una extracción adecuada o una dilución efectiva de los vapores puede derivar en exposiciones por inhalación, acumulación de vapores inflamables e incluso en la contaminación del entorno laboral.

En términos más simples, la carencia de un sistema de ventilación limita de manera significativa las condiciones experimentales, involucrando la calidad de los materiales obtenidos y detiene el avance de las investigaciones. La acumulación de vapores tóxicos e inflamables en un espacio bloqueado, sin mecanismos de extracción apropiados, no es solo un riesgo químico y ambiental, sino también una inobservancia frente a las normativas nacionales e internacionales en higiene industrial, ventilación y seguridad ocupacional.

Ante este escenario, se plantea la necesidad urgente de diseñar un sistema de ventilación especializado, que permita al laboratorio operar de forma segura y conforme a la normativa. La propuesta tiene por objetivo analizar y dimensionar técnicamente un sistema de ventilación localizada, capaz de captar y controlar las emisiones de solventes generadas tanto en las operaciones del equipo de electrospinning como en otros procesos asociados.

El proyecto contempla un análisis exhaustivo de los solventes aplicados, la evaluación detallada del comportamiento de las emisiones en condiciones de normales operaciones, La estimación de los volúmenes de aire necesarios, y La selección teórica

de los componentes más adecuados, incluyendo ventiladores, filtros, sensores y materiales resistentes, entre otros. Del mismo modo, se verifica que los parámetros de diseño alcancen los criterios técnicos establecidos por organismos como la ACGIH y la ASHRAE, además, de los lineamientos legales vinculados a la seguridad ocupacional.

Su desarrollo permitirá contar con una solución de ingeniería técnicamente fundamentada y operativamente viable. Con ello, se contribuye al fortalecimiento de las condiciones de seguridad operativa del laboratorio y a la expansión de su capacidad investigativa, al mismo tiempo que se asegura la factibilidad de incorporar, de manera segura y controlada, actividades asociadas al uso de solventes tóxicos en etapas futuras de desarrollo e inversión.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de ventilación que permita controlar las emisiones de solventes orgánicos durante la producción de biomateriales en el proceso de Electrospinning.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar los solventes orgánicos utilizados en condiciones de operación típicas considerando sus propiedades fisicoquímicas.
- Determinar los parámetros de diseño para un sistema de extracción de solventes orgánicos para la captación y/o filtración de estos. (incluir Normativa)
- Seleccionar equipos y accesorios que aseguren el cumplimiento de los estándares de seguridad y medio ambiente.
- Evaluar la viabilidad económica del sistema de ventilación propuesto, considerando costos de inversión, operación y mantenimiento.

ALCANCE

El presente proyecto se enfoca en el diseño técnico de un sistema de ventilación que permita controlar las emisiones de solventes orgánicos generados durante el proceso de Electrospinning en el laboratorio de biomateriales de la USM. El alcance abarca desde la caracterización de los solventes hasta la propuesta de un sistema de ventilación localizada y general, asegurando el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales.

El proyecto incluye la recopilación y análisis de las propiedades fisicoquímicas de los solventes utilizados, tales como toxicidad, inflamabilidad y presión de vapor, basándose en sus hojas de seguridad (SDS). Además, se determinarán los parámetros de diseño del sistema de ventilación, como los caudales de aire requeridos y las velocidades de captación, siguiendo estándares establecidos por la ACGIH, ASHRAE y normativas chilenas como el DS 594 y DS 43. También se evaluará la necesidad de incorporar filtros especializados, como los de carbón activado, para garantizar una retención eficiente de los contaminantes.

La selección de equipos y componentes, como ventiladores, ductos y sensores de compuestos orgánicos volátiles (VOC), se realizará considerando criterios de eficiencia energética, compatibilidad química y resistencia a la corrosión. El diseño se integrará al espacio físico actual del laboratorio, sin requerir modificaciones estructurales mayores, y se representará mediante un diagrama de flujo que detalle su funcionamiento.

Quedan fuera del alcance la implementación física del sistema, el rediseño del laboratorio y el análisis de solventes no utilizados actualmente. El objetivo principal es entregar una solución técnica fundamentada que sirva como base para futuras etapas de ejecución, garantizando condiciones seguras y cumplimiento normativo.

LIMITACIONES

El proyecto se limita exclusivamente al diseño técnico del sistema de ventilación, sin contemplar su implementación física.

La propuesta se desarrolla para el equipo de electrospinning y sus procesos asociados dentro del laboratorio de biomateriales

No se considera el rediseño estructural del laboratorio, solo se evalúa la instalación del sistema en la infraestructura disponible.

Se analizarán únicamente los solventes orgánicos actualmente utilizados en condiciones típicas de operación, sin incluir solventes futuros no caracterizados.

El estudio se enfocará en ventilación localizada.

RESTRICCIONES

El diseño debe ajustarse a las normativas nacionales e internacionales vigentes en seguridad laboral, higiene industrial y emisiones al ambiente (ej. ACGIH, ASHRAE, DS 594, entre otras). Colocar cuales normativas

El diseño de sistema localizado debe ser compatible con el espacio físico actual, sin requerir modificaciones estructurales mayores.

El sistema deberá operar bajo condiciones seguras, energéticamente eficientes y con bajo nivel de ruido.

El presupuesto estimado deberá ser realista, considerando las restricciones económicas típicas de centros de investigación universitarios.

SUPUESTOS

Se asume que las condiciones de operación del equipo de electrospinning, el uso y sus concentraciones de los solventes seguirán siendo las mismas durante el desarrollo y posterior implementación del sistema.

Se considera que se dispone de la información técnica completa de los solventes utilizados (fichas de seguridad, cantidades, frecuencia de uso).

Se asume que el laboratorio cuenta con suficientes accesos eléctricos, espacio para equipos auxiliares y factibilidad de ventilación al exterior.

PREMISAS

La necesidad de contar con un sistema de ventilación surge de la obligación de garantizar condiciones seguras para el uso de solventes tóxicos y cumplir con normativas aplicables.

Los solventes utilizados en el proceso de electrospinning están clasificados como peligrosos según normativas internacionales como el Sistema Globalmente Armonizado (GHS) y regulaciones nacionales como el DS 43 y DS 148 en Chile. Estos incluyen compuestos inflamables, neurotóxicos, irritantes y/o potencialmente cancerígenos.

Debido a sus características fisicoquímicas (alta volatilidad, baja presión de ebullición, toxicidad), se requiere un sistema de ventilación que minimice la exposición por inhalación, reduzca el riesgo de acumulación de vapores inflamables y garantice la seguridad del personal.

La presencia de estos solventes implica que la ventilación localizada debe ser diseñada para capturar vapores directamente en la fuente de emisión, evitando su dispersión al ambiente del laboratorio.

Dado el uso académico y de investigación del laboratorio, la solución propuesta debe garantizar condiciones seguras de trabajo prolongado con estos solventes, en cumplimiento con los estándares.

HITOS PRINCIPALES

- Caracterización de solventes orgánicos: Levantar un listado detallado de solventes, propiedades fisicoquímicas, riesgo de exposición y etapas de liberación.
- Determinación de los parámetros de diseño: Cálculo de emisiones, caudales requeridos, selección preliminar de filtros y evaluación normativa.
- Selección técnica de equipos: Desarrollar cálculo de emisiones, caudales requeridos, selección preliminar de filtros y evaluación normativa.
- Evaluación técnica y económica: Estimación de costos, consumo energético, viabilidad de instalación y mantenimiento del sistema propuesto.
- Entrega de diseño final: Documento técnico integral con planos, especificaciones, fundamentos normativos y evaluación económica.

METODOLOGÍA

Etapa 1: Caracterización de Solventes Orgánicos

En esta etapa se realizará un levantamiento y análisis detallado de los solventes orgánicos utilizados en el proceso de electrospinning en el laboratorio de biomateriales. Se identificará cada uno de los compuestos empleados en las distintas fases del proceso (preparación de soluciones, operación del equipo, limpieza, almacenamiento), recopilando sus respectivas hojas de seguridad (SDS) y extrayendo los principales datos fisicoquímicos: toxicidad, inflamabilidad, punto de ebullición, presión de vapor, entre otros.

Se estimarán las cantidades utilizadas en condiciones típicas de operación y se analizarán parámetros como punto de inflamación, densidad, viscosidad, volatilidad y solubilidad. Con esta información, se determinarán las etapas del proceso en las que ocurren liberaciones o evaporaciones significativas de vapores orgánicos. Finalmente, se clasificará cada solvente según su peligrosidad y se estimará el nivel de riesgo de exposición para el personal, considerando los límites de exposición permisibles establecidos por normativas como ACGIH (TLV) o NIOSH (REL).

Etapa 2: Definición de Parámetros de Diseño

A partir de la caracterización previa, se procederá a modelar o calcular la cantidad de solventes bajo condiciones típicas de uso, utilizando criterios establecidos por guías

técnicas como ACGIH, ASHRAE o NTP. Esto nos permitirá dimensionar el flujo de aire necesario para capturar o diluir los vapores generados.

Además, se calculará la velocidad mínima de captación requerida en los puntos de emisión para garantizar una extracción más efectiva, y se determinará si es necesario implementar filtros específicos como, por ejemplo, HEPA o de carbón activado, según el tipo y concentración de contaminantes presentes.

También se verificará que todos los parámetros definidos estén en concordancia con las exigencias de las normativas nacionales (DS 594, DS 43) e internacionales, tanto en materia de seguridad ocupacional como en protección ambiental. Finalmente, se evaluará los distintos tipos de equipos de ventilación y extracción disponibles en el mercado que podrían cumplir con las exigencias técnicas del sistema propuesto.

Etapa 3: Selección de Equipos y Componentes

Con los parámetros de diseño definidos, se procederá a la selección teórica de los equipos y componentes del sistema. Esto incluirá ventiladores o extractores con el caudal y presión estática requeridos, priorizando aquellos que ofrezcan alta eficiencia energética, bajo nivel de ruido y facilidad de mantenimiento.

Se seleccionarán filtros adecuados según los tipos de solventes a tratar, considerando eficiencia de retención, compatibilidad química y frecuencia de recambio. Los materiales del sistema (ductos, accesorios, recubrimientos) serán elegidos en función de su resistencia a la corrosión y a los compuestos orgánicos, siendo opciones viables el acero inoxidable o plásticos técnicos como el PVC especial.

Se desarrollará un diagrama de flujo del sistema de ventilación localizada que represente su integración al equipo de electrospinning, incorporando también dispositivos de seguridad como sensores de compuestos orgánicos volátiles (VOC), monitores de caudal de aire, alarmas de funcionamiento y elementos de control automático.

**CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**

CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

La Universidad Técnica Federico Santa María (USM) se posiciona como una institución líder en investigación aplicada y formación técnica. Este capítulo explora la estructura y alcance del Centro de Biotecnología "Dr. Daniel Alkalay Lowitt" (CBDAL), destacando su laboratorio de Biomateriales como un espacio dedicado a innovaciones en ingeniería de tejidos y nanofibras. La ubicación estratégica del laboratorio y su equipamiento especializado establecen el escenario físico donde se implementará el sistema de ventilación, integrando necesidades operativas con estándares de seguridad.

1.1 ANTECEDENTES UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

La Universidad Técnica Federico Santa María (USM) es una institución de educación superior chilena, de carácter público, pero de administración privada, reconocida por su excelencia académica, su tradición en la formación de ingenieros y científicos, y su fuerte orientación hacia la investigación y la innovación tecnológica.

Fue fundada oficialmente en 1926 gracias al legado de Federico Santa María Carrera, un filántropo y empresario porteño que, en su testamento, destinó gran parte de su fortuna a la creación de una universidad de carácter técnico y científico que contribuyera al desarrollo del país. Su visión era formar profesionales altamente capacitados, especialmente en áreas de la ingeniería, la tecnología y las ciencias aplicadas.

La sede central se encuentra en Valparaíso, en un icónico edificio de estilo neoclásico inaugurado en 1931.

La USM es reconocida por:

- Ser una de las universidades más exigentes académicamente en Chile, con una sólida base en matemáticas, física y ciencias de la ingeniería.
- Mantener un fuerte vínculo con el sector industrial y tecnológico, lo que asegura que sus egresados sean muy valorados en el mercado laboral.
- Tener programas destacados en ingeniería, ciencias, arquitectura y negocios, aunque su identidad está muy asociada a la ingeniería.

La universidad cuenta con varios campus y sedes:

- Casa Central en Valparaíso (el campus principal y símbolo de la institución).
- Campus Santiago San Joaquín

- Campus Vitacura.
- Campus Viña del Mar – José Miguel Carrera.
- Campus Concepción.

La Universidad Técnica Federico Santa María (USM) no solo destaca por su excelencia en la formación de ingenieros y científicos, sino también por su importante aporte a la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico en Chile y el extranjero.

Entre sus principales fortalezas se encuentran sus centros de investigación de alto nivel, que lideran proyectos en áreas estratégicas para el país:

- CCTVAL – Centro Científico Tecnológico de Valparaíso
- CETAM – Centro de Tecnologías Ambientales
- AC3E – Advanced Center for Electrical and Electronic Engineering
- CBDAL – Centro de Biotecnología “Dr. Daniel Alkalay Lowitt”

a) CCTVAL – Centro Científico Tecnológico de Valparaíso

Es un centro especializado en física de altas energías, instrumentación científica y desarrollo tecnológico avanzado.

Participa en proyectos internacionales de gran envergadura, como colaboraciones con el CERN en Suiza (en experimentos de física de partículas).

Su objetivo es desarrollar tecnologías y capacidades científicas de frontera, con aplicaciones en la investigación básica y la industria de alta tecnología.

Su enfoque principal:

- Diseño y construcción de detectores de partículas y dispositivos científicos.
- Desarrollo de instrumentación avanzada aplicable a la física, la medicina y la industria.
- Formación de capital humano altamente especializado en áreas de física, ingeniería y tecnología de vanguardia.

b) CETAM – Centro de Tecnologías Ambientales

El Centro de Tecnologías Ambientales (CETAM) busca desarrollar y potenciar la capacidad de investigación en las áreas de medio ambiente y tecnologías ambientales, vinculando a la USM con el mundo científico, político, gubernamental y empresarial relacionado con las tecnologías ambientales y contribuyendo con la transferencia tecnológica.

Todo esto, a través de la investigación aplicada, la prestación de servicios y actividades de extensión dedicando gran parte de sus esfuerzos al desarrollo de tecnologías ambientales orientadas a dar soluciones innovadoras y creativas a la problemática de

medir en forma confiable la calidad química y toxicológica del aire, tanto en el aire ambiente exterior, como intramuros.

c) AC3E – Advanced Center for Electrical and Electronic Engineering

Es un centro de investigación científica de excelencia en ingeniería eléctrica y electrónica. Fue constituido en 2014 tras haber obtenido financiamiento basal de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), Está compuesto por más de 100 investigadores, académicos, ingenieros y estudiantes de pregrado y posgrado.

Enfoque y línea de investigación

- **Industria Inteligente:** Soluciones vinculadas a automatización, robótica, sensores y sistemas inteligentes.
- **Energía y Sistemas de Potencia:** Energías renovables, electrónica de potencia e infraestructura eléctrica eficiente.
- **Tecnologías para la Salud:** Desarrollo de dispositivos y sistemas orientados a mejorar diagnósticos y tratamientos médicos.

Impacto e inserción en la industria:

Ha ejecutado cerca de 200 proyectos tecnológicos en colaboración con empresas y organizaciones públicas, incluyendo iniciativas como monitoreo sísmico con fibra óptica submarina junto a Google y Caltech

Desde su creación ha publicado más de 950 artículos científicos, promovido política de género en ingeniería, generado spin-offs y formados miles de estudiantes.

d) CBDAL – Centro de Biotecnología “Dr. Daniel Alkalay Lowitt”

El CBDAL es el centro de biotecnología de la Universidad Técnica Federico Santa María, creado en el año 2000 bajo la Vicerrectoría de Investigación. Su misión es impulsar la investigación científica, la innovación tecnológica y la formación de recursos humanos especializados en biotecnología aplicada.

Enfoque principal:

El centro aborda tres áreas clave:

- Biotecnología ambiental y agrobiotecnología
 - Investigan microorganismos para restaurar suelos afectados por incendios forestales, mediante inoculación de comunidades bacterianas seleccionadas para acelerar la recuperación natural.
- Búsqueda de nuevos antibióticos y compuestos bioactivos
 - Aísla y caracteriza bacterias marinas (como Streptomyces) desde sedimentos de la costa de Valparaíso, buscando rutas genéticas involucradas en la producción de metabolitos con potencial médico.

- Desarrollo de biomateriales marinos para aplicaciones médicas
 - En colaboración con CCTVal y la Universidad de Los Andes, trabaja en la creación de implantes de piel basados en biomateriales derivados de salmón, crustáceos y algas, como alternativa libre de componentes mamíferos. Este proyecto fue galardonado con un Premio Avonni en 2022.

Impacto y redes colaborativas

Dirigido por el Dr. Michael Seeger y la Dra. Beatriz Cámara, el CBDAL tiene un fuerte perfil internacional con colaboraciones en Europa y Latinoamérica. Forma parte de la Red Iberoamericana de Biotecnología Isla Negra (RIABIN) y cooperaciones con instituciones como el Max Planck Institute, CSIC y universidades de Alemania, Suecia e Italia.

Además, codirige el Doctorado en Biotecnología USM-PUCV, acreditado por 6 años desde enero de 2025 como el más relevante en el país y con fuerte proyección internacional.

El **CBDAL** integra distintos laboratorios especializados que permiten su labor multidisciplinaria en biotecnología aplicada:

- Laboratorio de Biotecnología Marina
 - Liderado por la Dra. Beatriz Cámara, se dedica a aislar y caracterizar bacterias de sedimentos marinos (como *Streptomyces*), con potencial para descubrir nuevos antibióticos y compuestos bioactivos.
- Laboratorio de Agrobiotecnología
 - Encabezado por la Dra. Marcela Carvajal, se enfoca en la recuperación de suelos afectados por incendios forestales mediante inoculación de comunidades microbianas sintéticas seleccionadas, acelerando así la restauración biológica del terreno.
- Laboratorio de Biotecnología Apícola
 - Coordinado por la Dra. Karen Yáñez, investiga el rol de las abejas en la polinización, producción de miel y aplicaciones apícolas, integrando microbiología, biotecnología y ecología.
- Laboratorio de Microbiología Molecular y Biotecnología Ambiental (Lab MMBA)
 - Asociado al Departamento de Química USM y operado con el CBDAL, este laboratorio realiza investigaciones sobre ingeniería genética, caracterización molecular de microorganismos ambientales y colaboración en proyectos de biorremediación, biodiversidad microbiana y producción de compuestos bioactivos.

Estos laboratorios forman la base científica del CBDAL, abordando desde la microbiología marina y ambiental hasta procesos para recuperación de suelos o bioproductos con potencial médico, agrícola y ambiental. Además, su estructura favorece la formación académica avanzada, la vinculación con la comunidad escolar y la cooperación internacional con redes como BioGEM, Max Planck y CSIC.

1.2 ANTECEDENTES DEL LABORATORIO DE BIOMATERIALES

El Laboratorio de Biomateriales forma parte del Centro de Biotecnología “Dr. Daniel Alcalay Lowitt” (CBDAL) de la Universidad Técnica Federico Santa María (USM). Este laboratorio surge como una unidad estratégica dedicada a la investigación, desarrollo e innovación de biomateriales de origen marino y biopolímeros avanzados, con aplicaciones en el área biomédica, ambiental e industrial.

Su creación responde a la necesidad de impulsar la investigación aplicada en materiales de origen biológico, aprovechando los recursos marinos y la biodiversidad de Chile para generar soluciones sostenibles y de alto valor agregado.

Objetivos principales

- Desarrollar biomateriales derivados de recursos marinos (salmón, crustáceos, algas) para aplicaciones médicas como implantes de piel, andamios para ingeniería de tejidos y sistemas de liberación controlada de fármacos.
- Optimizar procesos de obtención, modificación y caracterización de biopolímeros, como quitosano, colágeno marino y alginatos, orientados a la medicina regenerativa.
- Promover la transferencia tecnológica, mediante proyectos colaborativos con la industria biomédica y centros de investigación nacionales e internacionales.
- Formar capital humano avanzado, a través de la participación de estudiantes de pregrado, postgrado y doctorado en proyectos de investigación aplicada.

Líneas de investigación

- Ingeniería de biomateriales marinos
 - Desarrollo de películas, hidrogeles y andamios 3D a partir de biopolímeros de origen marino.
- Aplicaciones biomédicas
 - Producción de implantes dérmicos y matrices poliméricas para la regeneración de tejidos.

- Electrospinning y nanofibras poliméricas
 - Uso de la técnica de electrospinning para la fabricación de fibras y estructuras poliméricas con aplicaciones en liberación de fármacos, curación de heridas y andamios para cultivo celular.
- Caracterización fisicoquímica y biológica de biomateriales
 - Evaluación de propiedades mecánicas, térmicas y biocompatibilidad in vitro de los materiales desarrollados.

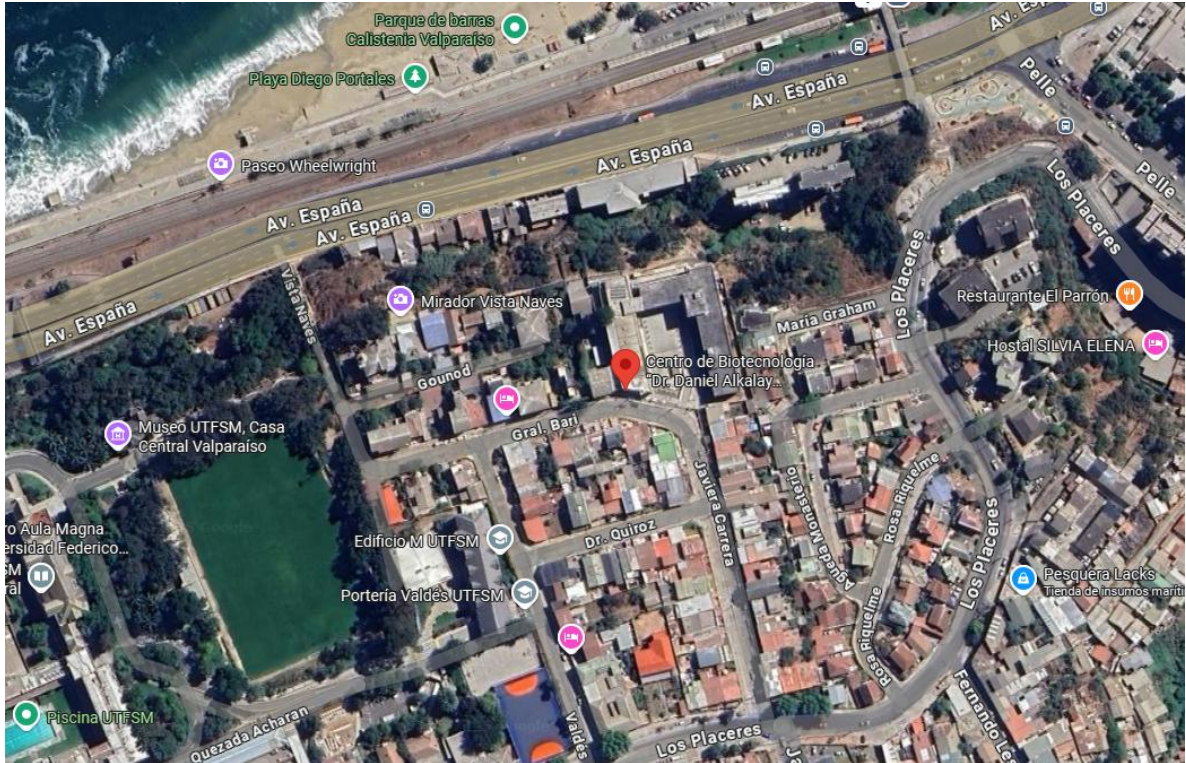
Infraestructura y equipamiento

El laboratorio cuenta con equipamiento especializado para la fabricación y caracterización de biomateriales, entre los que destacan:

- Equipo de electrospinning para la obtención de nanofibras poliméricas.
- Sistemas de liofilización y secado controlado, esenciales para la preservación de estructuras biopoliméricas.
- Equipos de espectroscopía, microscopía y ensayos mecánicos para la caracterización de materiales.
- Cabinas de bioseguridad y áreas de cultivo celular, que permiten evaluar la biocompatibilidad de los biomateriales desarrollados.

1.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

En la figura 1.1 se encuentra demarcada la locación de Centro de Biotecnología “Dr. Daniel Alkalay Lowitt”, la cual se encuentra ubicada en Gral. Bari 699, 2390136 Valparaíso.

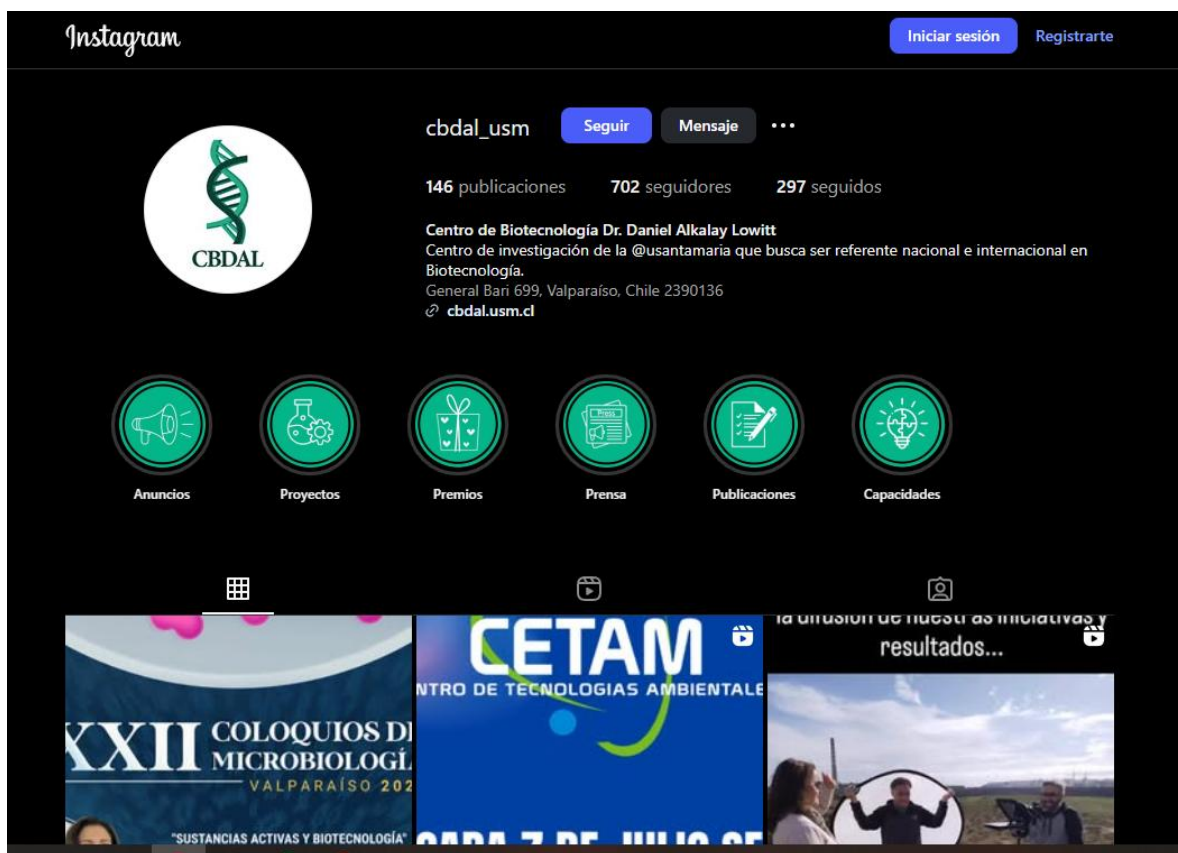


Fuente: Google Maps

Figura 1.1 Imagen satelital del Centro de Biotecnología “Dr. Daniel Alkalay Lowitt”

1.4 LINEAS DE INVESTIGACIÓN

En la figura 1.1 se encuentra la red social del Centro de Biotecnología “Dr. Daniel Alkalay Lowitt”, https://www.instagram.com/cbdal_usm/?hl=es-la.



Fuente: Instagram

Figura 1.2 Imagen de la red social del Centro de Biotecnología “Dr. Daniel Alkalay Lowitt”

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

El Electrospinning emerge como una técnica versátil para producir nanofibras, pero su uso implica riesgos asociados a solventes orgánicos volátiles. Este apartado analiza las propiedades críticas de estos compuestos —como toxicidad, inflamabilidad y presión de vapor— y su comportamiento durante las etapas de preparación, operación y limpieza. Los datos recopilados, respaldados por referencias técnicas, permiten priorizar solventes de alto riesgo (como DMF y diclorometano) y definir parámetros clave para el diseño del sistema de control.

2.1 SISTEMA DE VENTILACIÓN

Un sistema de ventilación es una infraestructura técnica integral diseñada para renovar, acondicionar y distribuir el aire dentro de un espacio confinado, con el objetivo primordial de garantizar la Calidad del Aire Interior (CAI). Su función va mucho más allá de simplemente "cambiar el aire"; se trata de un proceso fundamental para la salud, el confort, la productividad y la seguridad de los ocupantes, así como para la preservación misma de la estructura edilicia.

La necesidad de estos sistemas surge porque los espacios modernos son cada vez más herméticos, para mejorar su eficiencia energética. Esto, si bien es positivo para el aislamiento térmico y acústico, impide la renovación natural del aire, provocando que los contaminantes internos se acumulen. Estos contaminantes incluyen dióxido de carbono exhalado, compuestos orgánicos volátiles (COVs) desprendidos de muebles y materiales de construcción, alérgenos, humedad, olores y, en entornos industriales, partículas o gases potencialmente peligrosos. Un sistema de ventilación gestiona de forma activa y controlada la extracción de este aire viciado y su sustitución por aire exterior, que es tratado para adecuarse a las condiciones interiores deseadas.

Tipos de Sistemas de Ventilación

Los sistemas de ventilación se pueden clasificar de dos formas principales: por cómo se mueve el aire y por su diseño o alcance.

Clasificación por cómo se mueve el aire

- **Natural:** Utiliza fuerzas naturales como el viento (ventilación cruzada) y la diferencia de temperatura (efecto chimenea) para renovar el aire. No consume energía, pero es irregular y no filtra el aire.
- **Mecánica o Forzada:** Emplea ventiladores para controlar el flujo de aire. Es eficiente y confiable. Se divide en:
 - **Por Extracción:** Extrae el aire viciado (ej.: extractor de baño). El aire fresco entra de forma natural.

- **Por Impulsión:** Introduce aire fresco del exterior, filtrándolo y presurizando el espacio.
- **Doble Flujo:** El sistema más completo. Extrae aire viciado e introduce aire fresco de forma simultánea y controlada. Muchos incluyen un recuperador de calor que transfiere energía (calor/frío) del aire extraído al que entra, ahorrando mucha energía.

Clasificación por su diseño o alcance:

- **Ventilación General o por Dilución:** Renueva el aire de todo el ambiente de manera uniforme, diluyendo y mezclando los contaminantes en todo el espacio. Es ideal para contaminantes dispersos y de baja concentración, como en oficinas o viviendas.
- **Ventilación Localizada:** Se enfoca en capturar los contaminantes en su punto de origen antes de que se dispersen en el ambiente. Es mucho más eficiente para controlar fuentes específicas de alto riesgo o molestas. Es común en entornos industriales (ej.: campanas sobre soldadura o productos químicos) y domésticos (campana extractora de la cocina).

2.1.1 Ventilación general

La ventilación general, también conocida como ventilación por dilución, es un tipo de sistema de ventilación diseñado para mantener una calidad de aire aceptable en todo un espacio o ambiente (como una oficina, un aula, una nave industrial o una vivienda). Su principio fundamental no es eliminar el contaminante en su fuente, sino reducir su concentración global mezclándolo con una suficiente cantidad de aire fresco limpio.

Características principales:

- **Alcance:** Actúa sobre todo el volumen de un local.
- **Objetivo:** Lograr una concentración homogénea (aunque baja) del contaminante en todo el espacio.
- **Mecanismo:** Funciona mediante la mezcla del aire contaminado con aire limpio.
- **Aplicación típica:** Ideal para contaminantes de baja toxicidad que se generan de forma uniforme y dispersa en el ambiente, como el dióxido de carbono (CO₂) exhalado por las personas, humos de limpieza, olores leves, o calor y humedad generados por los ocupantes y equipos.

2.1.2 Ventilación localizada

Un sistema de ventilación localizada es un tipo de ventilación diseñada para capturar y extraer los contaminantes del aire (gases, vapores, humos, polvo, nieblas) directamente en el punto donde se generan, antes de que puedan dispersarse en el ambiente de trabajo y sean inhalados por los ocupantes.

A diferencia de la ventilación general (que diluye el contaminante en todo el volumen del local), un sistema de ventilación localizada lo ataca en su fuente, siendo el método más eficaz y eficiente para proteger la salud de los trabajadores en entornos industriales, laboratorios o procesos específicos.

Principio Fundamental de Funcionamiento: "Capturar en la Fuente"

El sistema funciona creando una campana de captura (física o con aire) alrededor del punto de generación del contaminante. Mediante un ventilador extractor, se genera un flujo de aire que arrastra el contaminante hacia la campana y lo conduce a través de unos conductos hasta un punto de expulsión o filtrado, impidiendo que llegue a la zona de respiración del operario.

Componentes Principales de un Sistema de ventilación localizada:

- **Campana de Captura:** Es el elemento más crítico. Es la abertura o dispositivo que se coloca lo más cerca posible de la fuente de contaminación para encerrarla o capturar los humos. Existen muchos tipos (cerradas, abiertas, de mampara, etc.).
- **Conductos:** Tuberías que transportan el aire contaminado desde la campana hasta el ventilador y el dispositivo de depuración. Su diseño (diámetro, forma, longitud) es crucial para minimizar la pérdida de presión.
- **Ventilador Extractor:** Es el "corazón" del sistema. Proporciona la energía necesaria para mover el aire a través de toda la instalación, creando el caudal y la velocidad de captura requeridos.
- **Sistema de Depuración o Filtros (en muchos casos):** Antes de expulsar el aire al exterior, a menudo es necesario limpiarlo para cumplir con la normativa ambiental. Pueden ser filtros de partículas, de carbón activo para gases, lavadores de aire, etc.
- **Sistema de Expulsión:** Donde el aire, ya limpio (o con una concentración permitida), es liberado a la atmósfera.

Tipos de Campanas de Captura (Clasificación por Diseño):

- **Campanas de Encerramiento:** Rodean completamente la fuente de contaminación (ej.: una cabina de pintura o de laboratorio). Son las más eficaces porque contienen el contaminante casi por completo.
- **Campanas Exteriores:** Se colocan cerca de la fuente, pero sin encerrarla completamente (ej.: una campana sobre un tanque de desengrase o un soldador). Requieren más caudal de aire porque deben "atrapar" el contaminante que escapa.
- **Campanas de Receptor:** Se aprovechan de las propiedades naturales del contaminante. Por ejemplo, una campana colocada encima de una fuente de calor se aprovecha de que el aire caliente (con los humos) asciende por convección.
- **Campanas de Proximidad (o de Captura Lateral):** Se usan cuando no es posible colocar la campana encima. Se acercan lateralmente a la fuente (ej.: extracción en soldadura en espacios confinados).
- **Cobertores y Aspiradores:** Para procesos como el lijado o pulido, donde la herramienta misma puede tener un sistema de extracción integrado.

Las ventajas de sistema de ventilación localizada:

- **Alta Eficiencia:** Controla el contaminante con mucho menos caudal de aire que un sistema de ventilación general, lo que se traduce en un enorme ahorro energético en climatización.
- **Máxima Protección para la Salud:** Protege directamente al trabajador al impedir la inhalación de sustancias peligrosas.
- **Cumplimiento Legal:** Es el método prescrito por la normativa de seguridad e higiene laboral (como el INSSST en España) para el control de la mayoría de agentes químicos peligrosos.
- **Protección del Medio Ambiente:** Al filtrar los contaminantes antes de su emisión.
- **Mantenimiento de Instalaciones:** Al evitar que el polvo y los vapores se dispersen, protege la maquinaria y los productos de la nave.

Las desventajas de un sistema de ventilación localizada:

- Requiere un diseño e ingeniería cuidadosos para cada aplicación específica.
- Puede ser más costosa de instalar inicialmente que un sistema general.
- Los conductos y campanas pueden estorbar en algunos procesos productivos.
- Requiere mantenimiento regular (limpieza de campanas, cambio de filtros).

2.2 FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE ELECTROSPINNING

El electrospinning, o hilado electrostático, es un método que se utiliza para producir fibras extremadamente finas a escala nanométrica y micrométrica a base de disoluciones o fundidos poliméricos. Este proceso consiste en aplicar un alto potencial eléctrico sobre la disolución o fundido del polímero, generando la formación de un flujo cargado eléctricamente que se alarga y solidifica en forma de fibras al ser depositado sobre un colector.

Se emplea de forma extensiva en el ámbito de la investigación y en la industria dedicada a la fabricación de nanofibras. Además, presenta aplicaciones en áreas como la ingeniería de tejidos, sistemas de filtración, liberación controlada de medicamentos, textiles funcionales, entre otras.

El funcionamiento de la técnica se basa en primera instancia en la preparación de una solución polimérica y/o un fundido del polímero, luego esta solución es colocada en una jeringa o en un recipiente conectado a una boquilla (punta metálica) que está dentro del equipo, una vez posicionada la solución y/o fundido dentro del equipo este aplica un campo eléctrico de alto voltaje entre la boquilla y un colector, la fuerza eléctrica supera la tensión superficial del líquido formando un cono o también conocido como cono de Taylor del cual emerge un flujo muy fino, a medida que este flujo viaja al colector el solvente se evapora y en el caso del fundido se enfría estos depositan una fibra sólida sobre la superficie del colector.

a) Las ventajas del electrospinning:

El proceso de electrospinning presenta múltiples ventajas que lo posicionan como una tecnología altamente eficiente y versátil para la producción de nanofibras.

Entre sus principales beneficios se destacan:

- **Alta relación superficie/volumen:** Las fibras obtenidas mediante esta técnica son extremadamente delgadas, lo que les confiere una elevada superficie específica y una notable porosidad, características clave para aplicaciones en filtración, catálisis y liberación controlada de sustancias activas.
- **Versatilidad de materiales:** Permite el uso de una amplia gama de polímeros, tanto de origen natural como sintético. Además, la técnica facilita la incorporación de nanopartículas, agentes terapéuticos, compuestos bioactivos u otros aditivos funcionales durante el proceso de fabricación.
- **Simplicidad y bajo costo del equipo:** El sistema básico requerido para llevar a cabo el electrospinning es relativamente simple en diseño, de bajo

costo y fácil de operar en comparación con otras tecnologías avanzadas de fabricación de nanomateriales.

- **Control sobre las propiedades de las fibras:** Durante el proceso, es posible ajustar diversos parámetros operacionales (como el voltaje, la distancia de trabajo, la velocidad de alimentación y la viscosidad de la solución) lo que permite controlar el diámetro, la orientación, la morfología superficial, la estructura porosa y otras propiedades específicas de las fibras sintetizadas.
- **Aplicaciones multidisciplinarias:** Esta tecnología se adapta a múltiples campos, incluyendo la ingeniería biomédica (andamiajes para ingeniería de tejidos, sistemas de liberación de fármacos), filtración avanzada, sensores, recubrimientos funcionales, textiles inteligentes, entre otros.
- **Producción continua de fibras:** A diferencia de otros métodos que generan partículas o fibras de corta longitud, el electrospinning permite la obtención de fibras continuas, lo que mejora la eficiencia del proceso y facilita su integración en sistemas de producción a escala.

b) Las desventajas del electrospinning:

A pesar de sus numerosas ventajas, el proceso de electrospinning presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas al momento de su implementación, especialmente en contextos de producción a gran escala o aplicaciones específicas.

Entre las principales desventajas se destacan:

- **Baja tasa de producción:** En comparación con técnicas industriales convencionales, el electrospinning presenta una velocidad de producción limitada, lo que dificulta su uso en procesos de fabricación de gran volumen, especialmente cuando se utilizan grandes cantidades de soluciones o fundidos poliméricos.
- **Uso de solventes tóxicos o inflamables:** Muchas disoluciones poliméricas empleadas en electrospinning requieren solventes orgánicos volátiles, los cuales pueden ser peligrosos para la salud y el medio ambiente. Esto implica la necesidad de contar con sistemas de ventilación adecuados y medidas de seguridad estrictas para mitigar riesgos asociados.
- **Limitaciones en el espesor de las capas:** La formación de capas gruesas de nanofibras puede comprometer la uniformidad estructural y la porosidad del material, dificultando su fabricación sin afectar las propiedades deseadas.
- **Dependencia de condiciones ambientales controladas:** Factores como la temperatura, la humedad relativa y la presión atmosférica pueden influir

significativamente en la morfología y calidad de las fibras, por lo que es necesario operar en entornos cuidadosamente regulados.

- **Compatibilidad limitada de materiales:** No todos los polímeros son adecuados para el proceso de electrospinning, ya que algunos no se disuelven eficientemente o no forman estructuras fibrosas estables bajo la influencia de un campo eléctrico.
- **Fragilidad de las nanofibras:** Las fibras obtenidas pueden presentar una alta fragilidad mecánica, lo que dificulta su manipulación y procesamiento posterior sin provocar daños o rupturas.

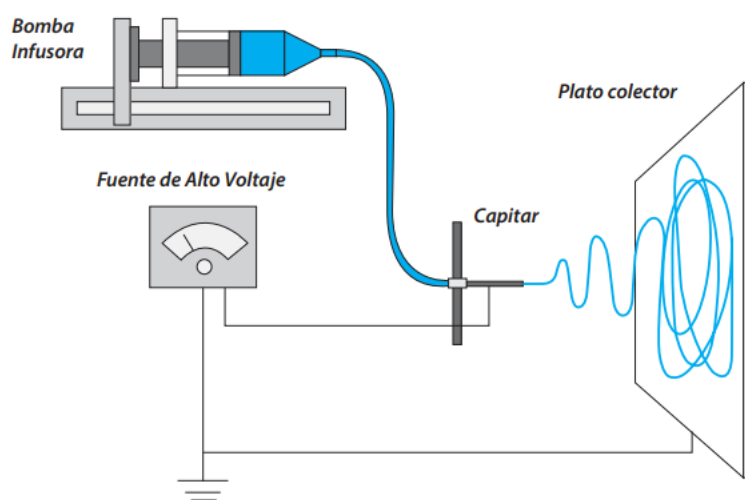


Figura 2.1 Electrospinning

Autor: Molfino, Alcalde-Yañez, Valverde-Morón & Villanueva-Salvatierra, 2020

2.3 VARIABLES DEL ELECTROSPINNING

El electrospinning es un proceso multifactorial, cuya eficiencia y resultados dependen de la interacción de diversas variables que influyen directamente en la formación, morfología, diámetro, uniformidad y propiedades físico-químicas de las fibras o nanofibras obtenidas. Estas condiciones, denominadas parámetros o variables del proceso, deben ser cuidadosamente controladas para optimizar la calidad del producto final.

Estas variables se agrupan comúnmente en tres categorías principales:

- **Variables operacionales:** Corresponden a los parámetros de funcionamiento del equipo de electrospinning, tales como el voltaje aplicado, la distancia entre la boquilla y el colector, la velocidad de alimentación de la solución, el tipo de

colector utilizado, entre otros. Estas variables determinan la estabilidad del chorro y el estiramiento del fluido durante el proceso.

- **Variables ambientales:** Se refieren a las condiciones del entorno donde se realiza el proceso, incluyendo temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y circulación del aire. Estos factores pueden afectar la evaporación del solvente y, por ende, la solidificación de las fibras.
- **Variables de la solución:** Involucran las propiedades físico-químicas de la disolución o fundido polimérico, como la viscosidad, la conductividad eléctrica, la concentración del polímero, la tensión superficial y la naturaleza del solvente. Estas características determinan la capacidad de la mezcla para formar fibras estables bajo un campo eléctrico.

2.3.1 Variables operacionales

Las variables operacionales corresponden a los parámetros de funcionamiento del equipo de electrospinning que regulan las fuerzas eléctricas y mecánicas aplicadas sobre la solución polimérica o el fundido polimérico. Estas fuerzas son responsables de generar y estabilizar el flujo cargado que da origen a la formación de fibras, las cuales se depositan finalmente sobre el colector.

Entre los principales parámetros operacionales se encuentran:

- **Voltaje aplicado:** El voltaje es una de las variables más influyentes en el proceso de electrospinning, ya que determina la intensidad del campo eléctrico entre la boquilla y el colector. Generalmente, se emplean valores altos que oscilan entre 10 y 30 kV, siendo el rango más común en condiciones de laboratorio de 10 a 25 kV. Un aumento del voltaje incrementa la fuerza electrostática aplicada a la solución, lo que favorece el estiramiento del chorro y, en consecuencia, la formación de fibras con menor diámetro. Sin embargo, voltajes excesivos pueden inducir inestabilidad en el proceso, dando lugar a la aparición de múltiples chorros (jets) simultáneos o a la formación de estructuras no deseadas.
- **Distancia entre la aguja y el colector:** La distancia entre la punta de la aguja (boquilla) y el colector influye directamente en el tiempo de vuelo del chorro y, por tanto, en la evaporación del solvente y la formación de las fibras. Distancias demasiado cortas (< 10 cm) pueden provocar un secado incompleto de las fibras, lo que genera estructuras pegajosas o mal definidas. Por el contrario, una distancia excesiva (> 20 cm) puede disminuir la eficiencia del depósito, afectando la morfología de las fibras. El intervalo óptimo suele encontrarse entre 10 y 20 cm, dependiendo de la naturaleza del polímero, la concentración de la solución y la volatilidad del solvente utilizado.

- **Flujo de la solución:** El caudal con el que se alimenta la solución polimérica hacia la boquilla debe mantenerse constante y cuidadosamente ajustado. Un chorro demasiado elevado (> 20 mL/h) puede generar la formación de gotas (efecto de goteo) o fibras con diámetros irregulares. Por otro lado, un chorro muy bajo (< 0.1 mL/h) puede ser insuficiente para sostener el proceso, interrumpiendo la formación continua del chorro. El rango de chorro recomendado se sitúa entre 0.1 y 2 mL/h, y debe calibrarse de acuerdo con la viscosidad y la concentración del polímero.
- **Diámetro de la aguja:** El calibre de la aguja afecta el volumen del fluido que pasa hacia la zona de emisión. Aguja muy finas (calibres 22 a 27 G) permiten la producción de fibras más delgadas, pero presentan un mayor riesgo de obstrucción, especialmente en soluciones de alta viscosidad. Una selección equilibrada se encuentra en el rango de 18 a 25 G, lo cual permite un buen control del flujo manteniendo una resolución aceptable en el proceso de hilado.
- **Tipo de colector:** El tipo de colector determina la orientación y disposición de las fibras formadas.
 - **El colector estático** (habitualmente una lámina de aluminio) permite la recolección de fibras distribuidas aleatoriamente.
 - **El colector rotatorio cilíndrico**, al girar a velocidades moderadas, favorece la alineación parcial de las fibras.
 - **El tambor o disco rotatorio** a alta velocidad ofrece un mayor grado de orientación, tensión mecánica y uniformidad, siendo adecuado para aplicaciones que requieren fibras alineadas y estructuras más organizadas.

2.3.2 Variables ambientales

Las variables ambientales corresponden a las condiciones físicas del entorno donde se lleva a cabo el proceso de electrospinning. Estos factores inciden directamente en la evaporación del solvente, la solidificación del polímero y, por ende, en la morfología, calidad y reproducibilidad de las fibras obtenidas.

Las principales condiciones ambientales que deben considerarse son:

- **Temperatura:** La temperatura ambiente influye en la velocidad de evaporación del solvente y en la viscosidad de la solución polimérica. Temperaturas elevadas favorecen una evaporación más rápida, lo que puede reducir el tiempo de secado. Sin embargo, un exceso térmico puede provocar la formación de fibras frágiles o con defectos estructurales.

El rango recomendado para la mayoría de los procesos experimentales se encuentra entre 20 y 30 °C.

- **Humedad relativa:** La humedad ambiental es un parámetro crítico en la formación de fibras. Niveles elevados de humedad (> 60%) pueden provocar la condensación de agua sobre la superficie de las fibras, generando poros o irregularidades. Por el contrario, una humedad muy baja (< 20%) puede acelerar excesivamente la evaporación del solvente, afectando la elongación del chorro y la continuidad del proceso.

El rango ideal para mantener un equilibrio adecuado en la morfología de las fibras se sitúa entre 30 y 50% de humedad relativa.

- **Presión atmosférica:** La presión del entorno también incide en la estabilidad del chorro y en la evaporación del solvente. En condiciones de baja presión, como en cámaras de vacío o ambientes controlados, el proceso de electrospinning puede volverse inestable y más difícil de controlar. Por lo tanto, se recomienda realizar el proceso bajo condiciones atmosféricas estándar, salvo que el diseño experimental justifique lo contrario.

2.3.3 Variables de la solución

Las variables de la solución hacen referencia a las propiedades físico-químicas de la disolución polimérica utilizada en el proceso de electrospinning. Estas características influyen de forma directa en la estabilidad del flujo (jet), en la formación continua de fibras y en la morfología del material final. Un control adecuado de estos parámetros es esencial para obtener fibras uniformes, sin defectos y con propiedades funcionales específicas.

Las principales propiedades a considerar son:

- **Viscosidad:** La viscosidad de la solución regula la resistencia al flujo y está estrechamente relacionada con la concentración del polímero. Una viscosidad demasiado baja impide la formación de fibras, generando gotas (efecto de electrospray), mientras que una viscosidad excesivamente alta dificulta la extrusión del fluido y puede bloquear la boquilla.

El rango óptimo varía según el tipo de polímero y solvente utilizado, pero en términos generales, las concentraciones eficaces se sitúan entre 5% y 20% p/v.

- **Conductividad eléctrica:** Una mayor conductividad favorece la elongación del chorro bajo la acción del campo eléctrico, lo que permite obtener fibras más delgadas y uniformes. Este parámetro puede ser ajustado mediante la adición de sales (como NaCl o LiCl) o el uso de solventes polares (como agua, etanol o N, N-Dimetilformamida - DMF).

El control de la conductividad es especialmente relevante en mezclas con polímeros poco ionizables.

- **Tensión superficial:** La tensión superficial determina la facilidad con la que se forma el chorro a partir de la punta de la boquilla. Soluciones con alta tensión superficial tienden a formar gotas, mientras que valores bajos favorecen la formación continua de fibras. Este parámetro puede ser modificado utilizando surfactantes o seleccionando solventes con baja tensión superficial, como el etanol o acetona.
- **Volatilidad del solvente:** La velocidad de evaporación del solvente afecta directamente el tiempo de solidificación de las fibras. Solventes altamente volátiles pueden causar un secado prematuro del chorro, provocando obstrucciones en la aguja, mientras que solventes menos volátiles permiten una evaporación más controlada, pero podrían generar fibras húmedas o mal formadas si no se ajusta adecuadamente la distancia al colector.

Por ello, la elección del solvente debe buscar un equilibrio entre su volatilidad y el tiempo de vuelo del chorro, para garantizar una correcta formación y deposición de las fibras.

2.4 POLIMEROS PARA ELECTROSPINNING

Los polímeros son macromoléculas constituidas por la repetición de unidades estructurales denominadas monómeros, unidos entre sí mediante enlaces covalentes. Estas estructuras pueden clasificarse en polímeros naturales (como la gelatina, quitina o alginato) y polímeros sintéticos (como el polietileno, policaprolactona, o poliestireno), y representan el componente fundamental en el proceso de electrospinning.

Para que un polímero sea adecuado en este proceso, debe cumplir con ciertas propiedades físico-químicas que permitan la formación estable y controlada de fibras a escala nano o micrométrica.

Las características más relevantes son:

- **Solubilidad:** El polímero debe ser soluble en solventes volátiles apropiados, lo cual permite obtener una disolución homogénea y estable. La solubilidad influye directamente en la formación del chorro (jet) y en la continuidad del proceso.
- **Viscosidad:** Es fundamental mantener una viscosidad intermedia: una viscosidad demasiado baja puede resultar en la formación de gotas (efecto electropray), mientras que una viscosidad excesiva puede dificultar la extrusión de la solución, generando obstrucciones. La viscosidad óptima depende del tipo de polímero y de la concentración utilizada.
- **Propiedades dieléctricas:** El polímero debe ser capaz de polarizarse bajo la influencia de un campo eléctrico, permitiendo la formación del cono de Taylor y el estiramiento de la solución en forma de fibras. Estas propiedades afectan la respuesta del material al voltaje aplicado y la estabilidad del proceso.
- **Estabilidad térmica y mecánica:** El polímero debe conservar su integridad tanto durante el proceso de hilado como en las aplicaciones finales de las fibras. Esto implica una adecuada resistencia térmica, para soportar la posible generación de calor por fricción o evaporación rápida, y estabilidad mecánica para evitar la fractura de las fibras obtenidas.

2.5 TIPOS DE POLÍMEROS UTILIZADOS EN ELECTROSPINNING:

2.5.1 Polímeros sintéticos

- **Ácido poliglicólico (PGA):** Polímero biodegradable con alta cristalinidad y rápida degradación en medios acuosos. Es ampliamente utilizado en la fabricación de suturas absorbibles y en aplicaciones temporales dentro de la ingeniería de tejidos.
- **Poliglicólido-co-lactida (PLGA):** Copolímero derivado del ácido poliglicólico (PGA) y del ácido poliláctico (PLA). Su biodegradabilidad y biocompatibilidad lo hacen ideal para sistemas de liberación controlada de fármacos y para la fabricación de andamios. La velocidad de degradación puede ajustarse modificando la proporción de sus monómeros.
- **Policaprolactona (PCL):** Polímero biodegradable de degradación lenta, con buena flexibilidad y facilidad de procesamiento. Es altamente valorado en ingeniería de tejidos, especialmente para la regeneración ósea y cartilaginosa, así como en dispositivos de liberación prolongada.

- **Poliuretano (PU):** Material sintético versátil que destaca por su elasticidad, resistencia mecánica y biocompatibilidad. Se emplea ampliamente en la elaboración de dispositivos médicos, andamios flexibles y materiales que requieren cierta elasticidad funcional.
- **Ácido poliláctico (PLA):** Polímero biodegradable obtenido del ácido láctico, con buenas propiedades mecánicas y alta biocompatibilidad. Se utiliza en suturas, envases biodegradables y en andamiajes para aplicaciones médicas y ambientales.
- **Poliestireno (PS):** Polímero sintético no biodegradable, de estructura rígida y bajo costo. Su uso está muy extendido en el ámbito de la investigación, especialmente como material para placas de cultivo celular y en sistemas de envasado.
- **Alcohol polivinílico (PVA):** Polímero hidrofílico, soluble en agua, biocompatible y fácilmente electrohilable. Es utilizado en la fabricación de películas, recubrimientos, membranas y diversas aplicaciones biomédicas gracias a su excelente capacidad para formar fibras.

2.5.2 Polímeros naturales

- **Quitano:** Polisacárido catiónico obtenido mediante la desacetilación de la quitina. Presenta dificultades para formar fibras definidas debido a su limitada solubilidad en disolventes orgánicos y a su sensibilidad frente a ácidos fuertes como el TFA o el HFIP. Para mejorar su procesabilidad en electrospinning, se recomienda disolverlo en ácido acético diluido y emplear agentes reticulantes; sin embargo, estas modificaciones pueden alterar sus propiedades naturales.
- **Ácido hialurónico:** Polisacárido de elevada viscosidad presente de forma natural en las articulaciones y otros tejidos conectivos. Aunque es altamente soluble en agua, su electrohilado resulta complejo por su inestabilidad estructural bajo condiciones convencionales. La implementación de técnicas asistidas por soplado, junto con un control preciso de la temperatura, permite obtener nanofibras estables, especialmente útiles en aplicaciones de regeneración de cartílago.
- **Colágeno:** Proteína estructural de triple hélice esencial en la matriz extracelular. Es altamente biocompatible y biodegradable, lo que la convierte en un excelente material para la fabricación de andamios en ingeniería de tejidos. No obstante, al hidratarse, pierde parte de su resistencia mecánica, lo cual limita su uso en aplicaciones que requieren mayor estabilidad estructural.
- **Alginato:** Polisacárido lineal extraído de algas pardas o producido por bacterias. Es biocompatible, de bajo costo y con excelentes propiedades

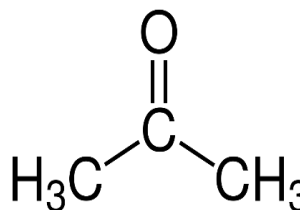
gelificantes, lo que lo hace ideal para aplicaciones biomédicas. Se utiliza principalmente en forma de geles para encapsulación o trasplante celular, así como en sistemas de liberación controlada.

- **Fosfolípidos (lecitina):** Mezcla natural de fosfolípidos que puede formar micelas cilíndricas en solución. Esta estructura permite la obtención de fibras mediante electrospinning con diámetros entre 1 y 5 μm . Gracias a su capacidad autoensamblante, es posible generar membranas biológicas de gran superficie sin necesidad de etapas de procesamiento adicionales.

2.6 SOLVENTES ORGANICOS UTILIZADOS EN ELECTROSPINNING

2.6.1 Acetona

Descripción: La acetona (propanona) es la cetona más simple y uno de los disolventes orgánicos más ampliamente utilizados tanto a nivel industrial como doméstico. Se presenta como un líquido incoloro, altamente volátil, con un olor característico dulce y penetrante. Su rápida evaporación y capacidad para disolver una amplia gama de compuestos orgánicos la convierten en un disolvente ideal en numerosos procesos



Estructura química: $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$

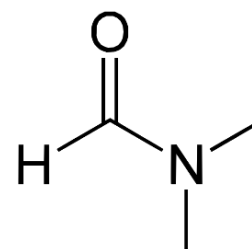
Principales usos:

- Industria química y de materiales:
 - Agente limpiador de superficies metálicas y equipos electrónicos por su eficacia y velocidad de secado.
 - Disolvente en la fabricación de pinturas, barnices, adhesivos y recubrimientos industriales.
- Síntesis de compuestos industriales:
 - Intermedio clave en la producción de metil metacrilato (utilizado en plexiglás) y policarbonato.
 - Participa en la síntesis de bisfenol A, esencial en la elaboración de plásticos y resinas epoxi.
- Industria farmacéutica y cosmética:
 - Presente en productos cosméticos como removedores de esmalte de uñas (en concentraciones controladas).
 - Utilizada como medio de reacción o extracción en la síntesis de fármacos, vitaminas y principios activos.
- Aplicaciones en laboratorio:

- Solvente habitual en extracciones orgánicas, limpieza de material y reacciones químicas por su compatibilidad con múltiples compuestos.
- e) Uso doméstico:
- Empleado como removedor de pegamentos, ceras, tintas o manchas difíciles sobre distintas superficies.

2.6.2 Dimetilformamida (DMF)

Descripción: La Dimetilformamida (DMF) es un solvente orgánico polar, líquido e incoloro, con un leve olor a amina. Se caracteriza por su alta miscibilidad tanto con el agua como con la mayoría de los solventes orgánicos. Su elevada constante dieléctrica y baja volatilidad lo hacen especialmente útil en procesos de disolución de polímeros y reacciones químicas sensibles.



Estructura química: $\text{HCON}(\text{CH}_3)_2$

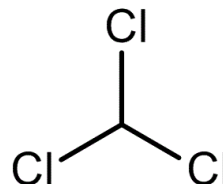
Principales usos:

- Solvente industrial:
 - Utilizado en la producción de polímeros como poliacrílicos, poliuretanos y fibras sintéticas de alta resistencia, como el Kevlar.
 - Aplicado en procesos de extracción y purificación en la industria petroquímica y farmacéutica.
- Industria farmacéutica:
 - Medio de síntesis para la elaboración de antibióticos, vitaminas, pesticidas y otros compuestos bioactivos.
 - Facilita reacciones de acoplamiento y condensación en ambientes controlados.
- Industria electrónica:
 - Empleado en la fabricación de circuitos impresos (PCBs) y en formulaciones de recubrimientos conductores debido a su excelente poder disolvente.
- Aplicaciones en laboratorio:
 - Solvente versátil en síntesis orgánica, especialmente en reacciones de acilación, amidación y formilación.

- También es usado para disolver polímeros difíciles en procesos como el electrospinning, debido a su capacidad para mantener la estabilidad de la solución.

2.6.3 Cloroformo

Descripción: El cloroformo es un líquido incoloro, volátil y con un característico olor dulzón. Es un solvente orgánico no polar ampliamente utilizado en la industria y en laboratorios por su capacidad para disolver compuestos hidrofóbicos. Aunque antiguamente se empleó como anestésico general, su uso médico fue discontinuado debido a su toxicidad hepática y efectos adversos sobre el sistema nervioso central.



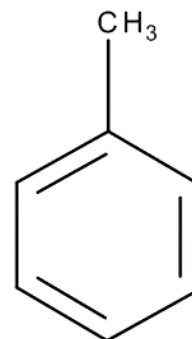
Estructura química: CHCl₃

Principales usos:

- a) Industria química y farmacéutica:
 - Utilizado como disolvente en la síntesis de colorantes, pesticidas, productos farmacéuticos y compuestos intermedios.
 - Facilita la extracción de compuestos orgánicos como alcaloides, esteroides y lípidos.
- b) Aplicaciones en laboratorio:
 - Empleado como reactivo en procesos de cloración.
 - Fundamental en protocolos de extracción de ácidos nucleicos (ADN/ARN), especialmente en mezclas con fenol e isoamil alcohol.
- c) Usos médicos históricos:
 - Fue uno de los primeros anestésicos generales utilizados durante el siglo XIX.
 - Su uso clínico se abandonó debido a sus efectos tóxicos acumulativos y riesgo de arritmias cardíacas.
- d) Industria de polímeros:
 - Utilizado como disolvente en la producción de materiales plásticos como teflón (PTFE) y diversas resinas.

2.6.4 Tolueno

Descripción: El tolueno es un hidrocarburo aromático derivado del benceno, en el cual un grupo metilo ($-\text{CH}_3$) está unido al anillo bencénico. Se presenta como un líquido incoloro, volátil y con un olor dulce distintivo, similar al de los disolventes utilizados en pinturas. Destaca por su amplia aplicación como solvente industrial, reactivo en síntesis orgánica y compuesto intermedio en la industria petroquímica.



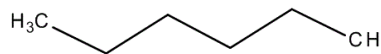
Estructura química: $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$

Principales usos:

- a) Disolvente industrial:
 - Componente esencial en la formulación de pinturas, barnices, adhesivos y diluyentes (thinneres).
 - Empleado en la limpieza de maquinaria, herramientas y componentes electrónicos.
- b) Producción química:
 - Precursor en la fabricación de productos como el trinitrotolueno (TNT), benzoato de sodio y caprolactama (materia prima para nylon).
 - Participa en la síntesis de poliuretanos, plásticos y resinas.
- c) Uso como aditivo en combustibles:
 - Actúa como mejorador del índice de octano en gasolinas, aunque su uso ha disminuido debido a regulaciones ambientales.
- d) Aplicaciones en laboratorio:
 - Utilizado como solvente en reacciones de síntesis orgánica, cromatografía y procesos de extracción.
- e) Otros usos:
 - Componente en la elaboración de perfumes, productos farmacéuticos y colorantes industriales.

2.6.5 N-Hexano

Descripción: El n-hexano es un hidrocarburo alifático saturado perteneciente a la familia de los alcanos. Se presenta como un líquido incoloro, de alta volatilidad e inflamabilidad, con un olor ligeramente dulzón. Es un solvente no polar ampliamente utilizado en procesos industriales, laboratorios químicos y en la producción de adhesivos y polímeros.



Estructura química: C₆H₁₄

Principales usos:

- a) Disolvente industrial:
 - Utilizado en la extracción de aceites vegetales a partir de semillas como soya, canola y algodón.
 - Empleado para la limpieza de piezas metálicas y componentes electrónicos debido a su rápida evaporación.
- b) Industria de adhesivos:
 - Componente activo en cementos de caucho, pegamentos industriales y recubrimientos impermeabilizantes.
- c) Laboratorios químicos:
 - Solvente en técnicas de cromatografía de gases (GC) y medio de reacción en síntesis orgánica.
 - Usado como fase móvil en separación de compuestos no polares.
- d) Uso como combustible:
 - Presente como fracción menor en la gasolina y en mezclas especiales de combustibles para motores pequeños o aplicaciones técnicas.
- e) Industria de polímeros y textiles:
 - Participa en la producción de materiales como poliestireno y en procesos relacionados con fibras sintéticas.

2.6.6 Diclorometano

Descripción: El diclorometano (DCM), también conocido como cloruro de metileno, es un compuesto orgánico volátil perteneciente a la familia de los haloalcanos. Se presenta como un líquido incoloro, con un olor ligeramente dulce y penetrante, similar al cloroformo. Es un disolvente altamente versátil debido a su capacidad para mezclarse con una amplia variedad de sustancias orgánicas, su baja miscibilidad en agua y su rápida evaporación. Estas propiedades lo hacen indispensable en numerosas aplicaciones industriales y de laboratorio.



Estructura química: CH_2Cl_2

Principales usos:

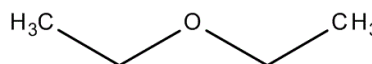
- a) Disolvente industrial:
 - Extracción de cafeína en procesos descafeinados de café y té, donde disuelve selectivamente la cafeína sin alterar el sabor.
 - Limpieza de metales y circuitos electrónicos, eliminando grasas, aceites y residuos de soldadura sin dañar componentes sensibles.
 - Componente en formulaciones de pinturas, adhesivos y quitaesmaltes, gracias a su rápida evaporación y capacidad para disolver resinas y nitrocelulosa.
- b) Producción química y farmacéutica:
 - Síntesis de medicamentos y vitaminas, como intermediario en la fabricación de antibióticos y corticosteroides.
 - Producción de poliuretanos y acetato de celulosa, utilizado en espumas aislantes, películas fotográficas y filtros de cigarrillos.
 - Fabricación de pesticidas y agroquímicos, donde actúa como vehículo para principios activos.
- c) Industria de pinturas y recubrimientos:
 - Disolvente en aerosoles y barnices, asegurando una aplicación uniforme y secado rápido.
 - Componente en pegamentos especializados, como los basados en caucho o resinas sintéticas.
- d) Aplicaciones en laboratorio:
 - Reactivo en cromatografía (fase móvil) para separación de compuestos.
 - Extracción líquido-líquido en purificación de sustancias orgánicas.

e) Otros usos industriales:

- Agente espumante en poliuretano expandido, usado en aislamientos térmicos y colchones.
- Elaboración de perfumes y colorantes, donde actúa como disolvente de fragancias y pigmentos.

2.6.7 Éter dietílico

Descripción: El éter dietílico es un líquido orgánico incoloro, volátil y extremadamente inflamable, con un olor penetrante y característico. Es uno de los éteres más conocidos y fue históricamente utilizado como anestésico general en cirugía durante el siglo XIX. Actualmente, su principal aplicación es como disolvente en laboratorios y procesos industriales.



Estructura química: $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{CH}_3$

Principales usos:

- Solvente en industria y laboratorio:
 - Utilizado en la extracción de compuestos orgánicos como grasas, aceites esenciales y alcaloides.
 - Empleado en la síntesis de fármacos, colorantes y explosivos, como la pólvora sin humo.
- Aplicación médica histórica:
 - Fue el primer anestésico quirúrgico eficaz, introducido en 1846. Actualmente está en desuso debido a su alta inflamabilidad y efectos adversos en el sistema respiratorio.
- Combustible:
 - Utilizado en motores de combustión interna en el siglo XX, especialmente como aditivo en mezclas para facilitar el arranque en frío.
- Reactivo en química orgánica:
 - Sirve como medio inerte en reacciones con compuestos altamente reactivos, como los reactivos de Grignard, debido a su baja reactividad química.

2.7 CARACTERIZACIÓN DE SOLVENTES ORGANICOS EN EL PROCESO DE ELECTROSPINNING

Se presenta un análisis detallado de los solventes orgánicos utilizados en el proceso de Electrospinning, con el objetivo de evaluar sus propiedades fisicoquímicas, riesgos asociados y comportamiento durante las diferentes etapas del proceso. Las tablas incluidas proporcionan información esencial para el diseño del sistema de ventilación, asegurando que se consideren aspectos críticos como toxicidad, volatilidad y exposición ocupacional.

A continuación, la clasificación de los solventes orgánicos según su estructura molecular, peso molecular y propiedades de riesgo. Esta tabla permite identificar los compuestos más peligrosos y priorizar medidas de control.

Tabla 2 Solventes orgánicos

Solvente	Estructura	LPP (mg/m ³)	Clasificación toxicológica	Propiedades de riesgo
Acetona	C ₃ H ₆ O	1424	Clase 3	Inflamable, irritante ocular, efecto narcótico reversible
Dimetilformamida	C ₃ H ₇ NO	20	Clase 4	Inflamable, irritación ocular, toxicidad aguda por inhalación y cutánea.
Cloroformo	CHCl ₃	43	Clase 4	Tóxico sistémico, posible carcinógeno, hepatotóxico
Tolueno	C ₇ H ₈	175	Clase 3	Inflamable, irritación ocular, toxico reproductivo.
N-Hexano	C ₆ H ₁₄	72	Clase 3	Inflamable, irritación cutánea, toxico reproductivo.
Dicloro metano	CH ₂ Cl ₂	70	Clase 3	Posible carcinógeno, irritación cutánea y ocular.
Éter dietílico	C ₄ H ₁₀ O	970	Clase 4	Inflamable, toxicidad aguda.

La siguiente tabla resume propiedades críticas de los solventes, como punto de inflamación, volatilidad y solubilidad, esenciales para evaluar su comportamiento durante el proceso. Estos datos permiten determinar los requisitos técnicos del sistema de ventilación, como caudales de aire y tipos de filtros necesarios.

Tabla 2-2 Análisis de parámetros

Solventes	Punto de inflamación (°C)	T° sat. (°C) / Volatilidad	Densidad (kg/m ³)	Solubilidad (en agua)
Acetona	17.20	56.05 / Alta	784	Alta
Dimetilformamida	58	153 / Baja	944	Miscible
Cloroformo	No inflamable	61.2 / Media	1490	Baja
Tolueno	4	110.6 / Baja	867	Insoluble
N-Hexano	-22	68.7 / Media	661	Insoluble
Dicloro metano	No inflamable	39.6 / Alta	1330	Baja
Éter dietílico	-45	34.6 / Alta	713	Limitada

<

Miscible: Que puede mezclarse en cualquier proporción y formar una fase homogénea

Basada en referencias bibliográficas, esta tabla cuantifica el volumen de cada solvente utilizado en condiciones típicas de operación. Su propósito es dimensionar el sistema de extracción y calcular las emisiones potenciales, asegurando que el diseño cumpla con las demandas reales del laboratorio.

Tabla 2-3 Estimación de cantidades en un aforo de 100 mL para cada solvente

Solventes	Cantidad Utilizada (mL)	Referencia
Acetona	33.20	Mankuni & Varghese, 2025
Dimetilformamida	90	Diwan, Abudi, Al-Furaiji & Farsani, 2025
Cloroformo	80	Wang, Xia, Zhou, Williams, Amler, Zhou & Liu, 2025
Tolueno	28.39	Patil, Zhao, Puthiyaveettil, Louhichi & Rastogi, 2025
N-Hexano	30	Augusty, Rangkupan & Klaysom, 2024
Dicloro metano	70	Weng, Hu, Wang & Hu, 2025
Éter dietílico	60	Thitiwongsawet, Boonruang & Noochsuparb, 2016

Se logró establecer que los solventes orgánicos volátiles se evaporan o liberan de manera sistemática en las tres etapas del proceso: preparación, operación y limpieza. La detección de estos compuestos a lo largo de todas las fases evidencia múltiples focos de emisión que representan un riesgo considerable tanto para la salud de los trabajadores como para el entorno. Este hallazgo resalta la necesidad urgente de adoptar medidas de control y mitigación eficaces, ya que los vapores generados son potencialmente peligrosos y su manejo inadecuado compromete la seguridad y sostenibilidad del proceso.

Aquí se detalla la duración de exposición a los solventes en las etapas de preparación, operación y limpieza. Estos valores son clave para calcular la concentración promedio ponderada (CPP) y evaluar el riesgo higiénico asociado a cada compuesto.

Tabla 2-4 Estimación de tiempo

Solvente	Tiempo		
	Preparación (h)	Operación (h)	Limpieza (h)
Acetona	2	2	0.50
Dimetilformamida	6	2	1
Cloroformo	12	2	1
Tolueno	1	1	0.50
N – Hexano	0.25	0.02	0.50
Dicloro metano	1	1.50	-
Éter dietílico	2	0.67	0.50
- Se evapora en la preparación (se desprecia)			

Derivada de los tiempos y cantidades de uso, esta tabla sintetiza la exposición acumulativa a cada solvente. Su función es comparar estas concentraciones con los límites permisibles, identificando aquellos que requieren intervención inmediata.

Tabla 2-5 Concentraciones promedio ponderada de los solventes

Solventes	Concentración Promedio Ponderada (CPP) (mg/m ³)
Acetona	41.53
Dimetilformamida	135.56
Cloroformo	190.19
Tolueno	39.27
N – Hexano	31.64
Dicloro metano	148.55
Éter dietílico	68.26

Para llevar a cabo una evaluación del riesgo higiénico mediante el índice de exposición (IE), comparando las concentraciones ponderadas con los límites permisibles. Los resultados destacan la necesidad de implementar controles técnicos para solventes con $IE > 1$.

Los resultados serán interpretados en base a la siguiente tabla:

Tabla 2-6 Interpretación de valores

Índice de exposición (IE)	Interpretación del riesgo higiénico	Acción requerida
$IE \leq 0.5$	Riesgo no significativo	Monitoreo periódico
$0.5 < IE \leq 1$	Riesgo moderado	Control técnico y seguimiento
$IE > 1$	Riesgo no aceptable	Corrección inmediata (Ventilación, EPP, etc.)

Mediante el Índice de Exposición (IE), esta tabla evalúa el nivel de riesgo para cada solvente, clasificándolo como aceptable, moderado o no aceptable. Los resultados guían la selección de controles técnicos, como ventilación localizada o equipos de protección personal (EPP).

Tabla 2-7 Estimación riesgo higiénico con IE

Solventes	Índice de exposición (IE)	Interpretación del riesgo higiénico	Acción requerida
Acetona	0.03	No significativo	Monitoreo periódico
Dimetilformamida	6.78	No aceptable	Corrección inmediata (Ventilación, EPP, etc.)
Cloroformo	4.42	No aceptable	Corrección inmediata (Ventilación, EPP, etc.)
Tolueno	0.22	No significativo	Monitoreo periódico
N – Hexano	0.44	No significativo	Monitoreo periódico
Dicloro metano	2.12	No aceptable	Corrección inmediata (Ventilación, EPP, etc.)
Éter dietílico	0.07	No significativo	Monitoreo periódico

Los cálculos de IE se encuentran disponibles en el **Capítulo 5**.

CAPITULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

CAPITULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

El diseño del sistema de ventilación se fundamenta en criterios técnicos y legales para garantizar su eficacia. Mediante estándares de la ACGIH y normativas chilenas (DS 594, DS 148), se determinan caudales de aire, velocidades de captura y la necesidad de filtros de carbón activado. La evaluación revela que, sin medidas adicionales, el sistema no cumple plenamente con los límites de exposición ocupacional, subrayando la urgencia de incorporar tecnologías de adsorción y monitoreo continuo.

3.1 REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE VENTILACIÓN

Estos requerimientos están basados según ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)

La cuantificación precisa de las masas evaporadas de cada solvente es un parámetro crítico para el dimensionamiento del sistema de ventilación. Esta información permite determinar con exactitud las tasas de emisión, estimar los caudales de aire requeridos para una captura eficiente en la fuente, y especificar los elementos de control adecuados, como filtros y sistemas de extracción, en función de las propiedades toxicológicas y fisicoquímicas de los compuestos involucrados.

Dicho análisis constituye la base del diseño ingenieril del sistema de ventilación, garantizando la reducción efectiva de la exposición ocupacional a agentes químicos peligrosos y el cumplimiento de los límites permisibles establecidos por la normativa vigente (DS 594, DS 43) y las directrices internacionales emitidas por ACGIH, NIOSH y OSHA.

Se clasifica los solventes según su volatilidad (alta, media o baja) y asigna una fracción evaporada estimada. Este análisis es fundamental para modelar la masa de vapores liberados y dimensionar el sistema de captura.

3.1.1 Flujo de aire

Según lo establecido en el manual de ACGIH se aplicó el método correspondiente al control por captura en la fuente, se logró determinar los siguientes caudales de ventilación: para la ventilación localizada mediante campana, 0.54 m³/h; para el equipo de Electrospinning, 31,86 m³/h y para la ventilación del laboratorio 940.08 m³/h. En conjunto, el flujo total del sistema de ventilación alcanza los 972.48 m³/h.

3.1.2 Velocidad mínima de aire

Electrospinning 0.5 m/s y campana 0.6 m/s

Establece las velocidades mínimas de captura según el tipo de emisión (pasiva, evaporación o con corrientes cruzadas), asegurando que el diseño cumpla con los estándares de la ACGIH para controlar contaminantes.

Tabla 3-1 Rango de velocidad de aire recomendado para el tipo de emisión

Tipo de emisión	Rango recomendable (ACGIH) (m/s)
Emisión poco contaminante, sin movimiento	0.25 – 0.5
Evaporación de solventes, sin corrientes	0.5 – 1.0
Emisión activa o con corrientes cruzadas	1.0 – 2.5

En conclusión, las velocidades de captura aplicadas en los sistemas de ventilación localizada, tanto en la campana de extracción como en el equipo de Electrospinning, se encuentran dentro del rango recomendado por ACGIH para la contención de solventes orgánicos volátiles (0,5–1,0 m/s). Este cumplimiento asegura una captura eficiente en la fuente, reduciendo la dispersión de contaminantes al ambiente laboral y optimizando el desempeño del sistema de ventilación en términos de control de exposición y eficiencia operativa.

3.1.3 Filtros HEPA, de carbón activado u otros sistemas

Según **Tabla 2-7** se enfocará en los solventes con un IE > 1 para realizar la identificación

- Dimetilformamida: 6.78
- Cloroformo: 4.42
- Dicloro metano: 2.12

Estos compuestos son tóxicos por inhalación y/o posibles cancerígenos.

Relaciona cada solvente crítico (IE > 1) con el tipo de filtro adecuado (carbón activado, HEPA, etc.), considerando su toxicidad y propiedades químicas. Esta selección garantiza una retención eficiente y segura de los vapores.

Tabla 3-2 Filtros recomendados según el tipo de solvente y riesgo asociado

Solvente	Tipo de riesgo	Filtro recomendable
Dimetilformamida	Toxico por inhalación	Carbón activado (alta masa)
Cloroformo	Posible carcinógeno	Carbón activado + prefiltrado
Dicloro metano	Carcinógeno potencial	Carbón activado especializado
Partículas / VOCs	General	Filtro HEPA + Carbón activado

Filtro HEPA: Diseñado para la retención de partículas sólidas y aerosoles, no es efectivo para la captura de gases o vapores orgánicos. Por lo tanto, no es adecuado para el control exclusivo de solventes volátiles.

Filtro de carbón activado: Altamente eficaz para la adsorción de vapores orgánicos, especialmente cuando se utiliza un medio de alta eficiencia y se realiza un mantenimiento y recambio periódico del material filtrante

3.1.4 Normativa nacional e internacional

Se ha verificado que los parámetros de diseño y operación del sistema de ventilación cumplen con los requisitos y especificaciones establecidos en las normativas nacionales e internacionales vigentes, según se detalla a continuación:

- **ACGIH (EE.UU.):** Referencia principal para el cálculo de caudales de ventilación y velocidades de captura.
- **DS 594 (Chile):** Establece los Límites de Exposición Profesional (LEPs) para agentes químicos.
- **DS 148 (Chile):** Regula las emisiones de contaminantes al aire.
- **OSHA / NIOSH (EE.UU.):** Proporcionan valores guía de concentración permisible para exposición ocupacional.

El sistema de ventilación diseñado cumple con los criterios de caudales y velocidades establecidos por ACGIH y las recomendaciones técnicas de ASHRAE en cuanto a diseño general.

No obstante, se identificó que, en su estado actual, el sistema no garantiza el cumplimiento de los límites de exposición ocupacional establecidos por normativas chilenas e internacionales para solventes como Dimetilformamida (DMF), diclorometano (DCM) y cloroformo. Para asegurar la conformidad regulatoria y la

protección efectiva de la salud ocupacional, se recomienda implementar las siguientes medidas correctivas:

- **Incorporación de filtros de carbón activado** para la adsorción de vapores orgánicos volátiles (VOCs).
- **Reforzamiento del sistema de extracción localizada**, en caso de que los niveles de emisión superen los umbrales permitidos.
- **Implementación de monitoreo ambiental continuo**, mediante sensores específicos para la detección de VOCs en tiempo real.
- **Uso obligatorio de Equipos de Protección Personal (EPP)** adecuados en zonas de exposición crítica.

Estas acciones permitirán reducir la exposición a niveles aceptables, en concordancia con las exigencias normativas y las buenas prácticas en higiene industrial.

3.1.5 Control de emisiones de solventes orgánicos

La gestión eficaz de emisiones de solventes orgánicos volátiles (VOCs) en ambientes industriales y de laboratorio requiere la selección adecuada de sistemas y equipos de control. La evaluación de los diferentes tipos de equipos debe considerar parámetros técnicos, operativos, ambientales y económicos para garantizar el cumplimiento normativo y la protección de la salud ocupacional y ambiental.

Tabla 3-3 Tipos principales de equipos para control de emisiones de solventes orgánicos

Tipos	Descripción	Consideraciones	Ventajas	Limitaciones
Sistemas de Ventilación y Extracción Localizada	Equipos diseñados para capturar vapores en el punto de generación, evitando su dispersión en el ambiente laboral.	Deben ser dimensionados para proporcionar caudales de aire adecuados según las tasas de emisión y la naturaleza del solvente.	Control eficiente en la fuente, reducción de exposición directa.	Requiere mantenimiento y monitoreo constante para asegurar eficiencia
Filtros de Carbón Activado	Medios adsorbentes que retienen vapores orgánicos mediante	La eficiencia depende de la carga del carbón, tiempo de contacto y	Alta efectividad para vapores orgánicos, fácil instalación	Saturación del carbón, necesidad de recambios periódicos,

Sistemas de Oxidación Térmica Catalítica	de Equipos que destruyen los VOCs mediante combustión térmica o procesos catalíticos, convirtiéndolos en CO ₂ y H ₂ O.	carbón activado. Requieren energía y control de temperatura; catalizadores deben ser compatibles con el tipo de solvente.	frecuencia de recambio. Requieren control de temperatura; catalizadores deben ser compatibles con el tipo de solvente.	de en sistemas existentes. Eliminación completa de contaminantes, reducción significativa de emisiones.	costos asociados. Alto costo inicial y operativo, complejidad técnica
Sistemas de Absorción Líquida (Lavadores o Scrubbers)	de Capturan solventes mediante transferencia a un líquido absorbente.		La selección del líquido debe ser compatible con el solvente y evitar formación de residuos peligrosos.	Adecuado para gases solubles en líquidos, fácil integración.	Generación de residuos líquidos, necesidad de tratamiento y disposición adecuada.
Filtros de Partículas HEPA y Combinados	de Filtración física de partículas en suspensión, generalmente combinados con carbón activado para vapores.		No retienen gases por sí solos; combinaciones mejoran el espectro de control.	Captura simultánea de partículas y vapores.	

Criterios de Evaluación

- **Eficiencia de Remoción:** Capacidad del equipo para reducir las concentraciones de solventes a niveles seguros.
- **Compatibilidad con los Solventes:** Adaptación del sistema a las propiedades químicas y físicas del solvente (punto de ebullición, toxicidad, solubilidad).
- **Costos:** Evaluación de costos iniciales, operativos y de mantenimiento.
- **Impacto Ambiental:** Minimización de residuos secundarios o emisiones secundarias.
- **Facilidad de Integración y Operación:** Adaptabilidad al proceso productivo y facilidad de mantenimiento.
- **Cumplimiento Normativo:** Asegurar que el equipo permita cumplir con normativas locales e internacionales.

Tabla 3-4 Comparativa de sistemas de ventilación y filtración: ventajas, limitaciones y aplicabilidad

Tipo de equipo	Ventajas principales	Desventajas / Limitaciones	¿Adecuado para el caso?
Campana de extracción con ductos	<ul style="list-style-type: none"> - Captación eficiente en la fuente - Fácil de conectar a filtros - Diseño probado 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere ductos - Ocupa espacio - Puede generar ruido 	Sí
Boquillas captadoras (snorkels)	<ul style="list-style-type: none"> - Muy cercanas a la fuente - Flexibles - Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo caudal - Eficiencia depende de la distancia - Menor cobertura 	Parcial
Cabinas ductless (con filtro integrado)	<ul style="list-style-type: none"> - No requiere ductos - Portátil - Filtro reemplazable 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad limitada - Costoso mantenimiento - Riesgo de saturación 	Parcial
Sistemas de ventilación general	<ul style="list-style-type: none"> - Diluye contaminantes - Mejora calidad del aire del laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> - No sustituye ventilación localizada - Ineficiente con solventes tóxicos 	Complementario
Ventiladores centrífugos + filtros	<ul style="list-style-type: none"> - Alta capacidad de extracción - Compatibles con filtros - Larga vida útil 	<ul style="list-style-type: none"> - Instalación más compleja - Necesita diseño técnico preciso 	Sí
Filtros de carbón activado	<ul style="list-style-type: none"> - Específicos para vapores orgánicos - Alta eficiencia si bien mantenidos 	<ul style="list-style-type: none"> - Saturación rápida con solventes volátiles - Requiere recambio periódico 	Sí
Filtros HEPA	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminan partículas sólidas - Protegen el sistema de ventilación 	<ul style="list-style-type: none"> - No capturan gases o vapores orgánicos 	Complementario
Sensores VOCs monitores de /	<ul style="list-style-type: none"> - Detectan concentración en tiempo real - Aumentan seguridad 	<ul style="list-style-type: none"> - No previenen exposición, solo la detectan 	Complementario

3.2 UNIDADES DE EXTRACCIÓN

3.2.1 Criterios de selección

El extractor es el componente central del sistema, responsable de mantener el flujo de aire necesario para la captura eficiente de vapores. Los parámetros evaluados incluyen:

- **Caudal de diseño:** 972.48 m³/h.
- **Presión estática:** 300–350 Pa (para compensar pérdidas en ductos, filtros HEPA y accesorios, con un 15% de margen de seguridad).
- **Compatibilidad química:** Resistencia a vapores orgánicos corrosivos (cloroformo, DMF) y humedad relativa ≤80%.
- **Eficiencia energética:** Motores clase IE3 o superior, con variadores de frecuencia (VFD) para ajuste dinámico del caudal.

Mediante un balance de materiales, se verificó que el caudal de diseño es el apropiado para manejar los solventes, considerando sus propiedades.

Tabla 3-5 Criterios de selección con respecto a los caudales

Solventes	Caudal requerido (m ³ /h)	Caudal de diseño (m ³ /h)	Margen
Acetona	2.28		426.53
Dimetilformamida	531		1.83
Cloroformo	346.51		2.81
Tolueno	17.60	972.48	55.25
N-Hexano	34.44		28.24
Dicloro metano	166.29		5.85
Éter dietílico	5.52		176.17

3.2.2 Análisis de alternativas

Para el sistema de ventilación de un equipo de electrospinning, donde se generan vapores de solventes orgánicos (como DMF, cloroformo y acetona), se requiere un sistema de extracción eficiente que garantice:

- Alto caudal para capturar vapores en la fuente.
- Presión estática suficiente para vencer pérdidas en ductos y filtros.
- Resistencia química a solventes corrosivos.
- Bajo nivel de ruido para ambientes de laboratorio.

A continuación, se comparan las tecnologías disponibles:

Tabla 3-6 Comparativa de ventiladores y extractores

Tipo	Ventajas	Limitaciones	Aplicación en electrospinning
Ventilador axial	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • Alto caudal (Ej. 3.000 m³/h) 	<ul style="list-style-type: none"> • Presión estática limitada (< 200 Pa) • Ineficiente con filtros HEPA/carbón 	no supera pérdidas de presión en sistemas con filtros
Extractor centrífugo	<ul style="list-style-type: none"> • Alta presión (300-600 Pa) • Silencioso • Ideal para sistemas con filtros 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor consumo energético • Requiere más espacio 	Ideal para sistemas con ductos y filtros de carbón activado
Extractor en línea	<ul style="list-style-type: none"> • Compacto • Fácil instalación en ductos 	<ul style="list-style-type: none"> • Presión limitada (150 – 250 Pa) • Baja eficiencia en sistemas complejos 	Solo apto para sistemas simples sin filtros
Extractor de doble aspiración	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor eficiencia energética • Presión equilibrada 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado • Mantenimiento especializado 	No crítico en este caso.

3.2.3 Descripción del equipo de extracción

El extractor centrífugo CBM-10/10 550 4PC VR KIT (Soler & Palau) fue seleccionado por:

- Cumplimiento de parámetros técnicos:
 - Caudal (3,300 m³/h): Supera el requerimiento calculado (972.48 m³/h), asegurando margen para futuras ampliaciones.
 - Presión estática (350–400 Pa): Suficiente para vencer pérdidas en filtros de carbón activado y ductos de PVC.
- Compatibilidad química:
 - Motor con protección IP44 y carcasa en acero galvanizado, resistente a vapores orgánicos y humedad (HR ≤80%).
- Eficiencia energética:
 - Motor 550 W (IE3) con control por variador de frecuencia (VFD), clave para ajustar el caudal según demanda.

- Bajo nivel de ruido (66 dB(A)):
 - Adecuado para ambientes de laboratorio.
- Configuración práctica:
 - Incluye pie de soporte y caja envolvente, facilitando la integración con el equipo de electrospinning.

Materiales del equipo

Gama de extractores centrífugos de doble entrada y accionamiento directo, fabricados en chapa de acero galvanizado.

Incluyen rodets centrífugos de álabes curvados hacia adelante, fabricados en chapa de acero galvanizado.

Motor:

Motores cerrados, IP44, clase F, equipados con protección térmica y rodamientos de bolas lubricados de por vida.

Alimentación eléctrica:

- Monofásica 220V-50Hz (condensador incluido en la carcasa plana).
- Trifásica 220/400V-50Hz.
- Temperaturas de trabajo: desde -20°C hasta +40°C.

Bajo pedido:

- Motores abiertos IP20, clase F.
- Brida de acoplamiento en la salida (versión 8).
- Versión especial para cocinas IP55, clase F.
- Motores trifásicos aptos para control por inversor de frecuencia (versión E22).

3.3 FILTROS Y DISPOSITIVOS DE CAPTURA DE VAPORES

3.3.1 Requisitos críticos

Considerando la peligrosidad y el índice de exposición elevado ($IE > 1$) para solventes como DMF, cloroformo y diclorometano, se priorizó la adsorción de vapores con alta eficiencia.

Los criterios fundamentales incluyen:

- Eficiencia de adsorción:
 - Mínimo 95% de retención para compuestos orgánicos volátiles (COVs)
 - Carbón activado con densidad ≥ 480 g/L y área superficial BET $\geq 1,000$ m²/g

- Compatibilidad química:
 - Resistencia a solventes clorados (cloroformo, diclorometano)
 - Estabilidad frente a cetonas (acetona) y amidas (DMF)
 - Tolerancia a humedad relativa $\leq 80\%$
- Características operativas:
 - Baja pérdida de carga (máximo 50 Pa)
 - Capacidad para manejar el caudal total del sistema (1,943.94 m³/h)
 - Vida útil mínima de 3 meses en condiciones normales de operación
- Seguridad y mantenimiento:
 - Diseño modular para fácil recambio
 - Materiales incombustibles (clase F)
 - Indicadores de saturación visibles

3.3.2 Filtros y monitoreo

Se propone un sistema de filtración basado en carbón activado, optimizado para los solventes críticos identificados:

- Filtro principal de carbón activado:
 - Modelo: Filtro de Carbón Activado Kasvi 250x600
 - Material: Carbón Activado Australiano
 - Espesor de la cama de carbón: 38 mm
 - Capacidad de flujo de aire: 1280 m³/h
 - Dimensiones: 250 mm x 600 mm
 - Compatibilidad: Sistemas de ventilación con ductos de 250 mm
 - Durabilidad: Aproximadamente 18 meses (dependiendo del uso)
 - Sostenibilidad: Material reciclable
- Sistema de monitoreo:
 - Sensores de VOC en puntos estratégicos
 - Manómetros diferenciales para control de pérdida de carga
 - Alarmas sonoras y visuales para indicar saturación

3.4 MATERIALES DE CONDUCTOS Y ACCESORIO

3.4.1 Materiales

El material de los ductos debe soportar la acción de solventes volátiles, evitar corrosión y no contribuir a la contaminación secundaria.

Para la selección de materiales se consideraron los siguientes parámetros críticos:

- Resistencia química: Capacidad para soportar exposición continua a:
 - Solventes clorados (cloroformo, diclorometano)
 - Cetonas (acetona)
 - Amidas (DMF)
 - Hidrocarburos aromáticos (tolueno)
- Propiedades mecánicas:
 - Resistencia a vibraciones del extractor
 - Estabilidad dimensional
 - Peso para facilitar instalación
- Factores operativos:
 - Facilidad de limpieza
 - Estanqueidad de uniones
 - Costo de mantenimiento

Se analizaron opciones de acero galvanizado, PVC especial y acero inoxidable. Debido a la presencia de solventes corrosivos, se opta por acero inoxidable AISI 304 o PVC reforzado químicamente resistente.

3.4.2 Selección de materiales

- Acero galvanizado: económico pero susceptible a corrosión química.
- Acero inoxidable AISI 304: excelente resistencia, alto costo.
- Plásticos técnicos (PVC especial o PP): buena resistencia química, bajo peso, costo intermedio.

Tabla 3-7 Comparación de materiales para ductos

Parámetro	Acero galvanizado	AISI 304	PVC	PP (Polipropileno)
Resistencia química	Limitada (pH 6-12)	Moderada	Excelente	Buena
Resistencia a solventes	Pobre, se deteriora con ácidos y solventes clorados	Limitada con clorados, buena con muchos no clorados	Excelente con la mayoría de solventes clorados o no clorados	Buena con solventes clorados
Vida útil (años)	5-7	10 +	15 +	12 +
Mantenimiento	Frecuente (anticorrosivo)	Bianual (limpieza)	Mínimo	Mínimo
Temperatura máx. (°C)	250	400	90	80
Resistencia mecánica	Alta	Muy alta	Media (Frágil a impactos)	Media – alta
Aplicación recomendada	Conductos generales (no críticos)	Campanas, zonas de alta corrosión	Ductos principales, químicos	Alternativa económica a PVC

Selección final:

Ductos principales: PVC por su resistencia química y peso reducido.

Campanas: PVC

3.4.3 Selección de piping

Para ductos principales:

- Material: PVC (clorado) de 300 mm de diámetro
- Espesor: 5 mm
- Uniones: Soldadura química con adhesivo especial
- Soportes: Cada 1.5 m (estructura de acero galvanizado)
- Accesorios: Codos de 90° con radio largo (1.5D)

Para campanas y puntos de captura:

- Material: PVC
- Uniones: PVC

3.5 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD Y MONITOREO

3.5.1 Equipos seleccionados

Monitor de Calidad del Aire Honeywell (SKU: 10-01-446):

- Función principal: Monitoreo continuo de CO₂
- Características incluidas:
 - Soporte para pared incorporado
 - Detección de temperatura y humedad ambiental
- Especificaciones eléctricas:
 - Voltaje de operación: 110/220V
 - Clasificación de eficiencia energética: A++
- Protección ambiental:
 - Certificación IP67 (resistente a polvo y agua)

3.5.2 Componentes clave

El monitor Honeywell representa el componente central del sistema de seguridad y presenta las siguientes características técnicas detalladas:

- Especificaciones técnicas:
 - Alimentación eléctrica: compatible con redes de 110V y 220V
 - Protección ambiental: certificación IP67 que garantiza resistencia completa al polvo y protección contra inmersión temporal en agua
 - Eficiencia energética: clasificación A++ para operación sostenible.
- Capacidades de monitoreo:
 - Rango de detección de CO₂: adecuado para las concentraciones esperadas en el laboratorio
 - Precisión en medición de temperatura: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en rango operacional
 - Medición de humedad relativa: rango completo de 0-100% con precisión del 3%.
- Características operativas:
 - Interfaz de usuario intuitiva con display para lectura instantánea de valores
 - Sistema de alertas visuales integrado
 - Memoria interna para registro de datos históricos.
- Requerimientos de instalación:
 - Ubicación preferencial: pared cercana a la zona de operación del electrospinning
 - Altura de instalación recomendada: 1.5-1.8 m del nivel del piso
 - Distancia mínima de fuentes de interferencia: 50 cm

- Protocolos de mantenimiento:
 - Limpieza periódica de sensores: cada 30 días
 - Calibración profesional: semestralmente
 - Verificación completa del sistema: anualmente

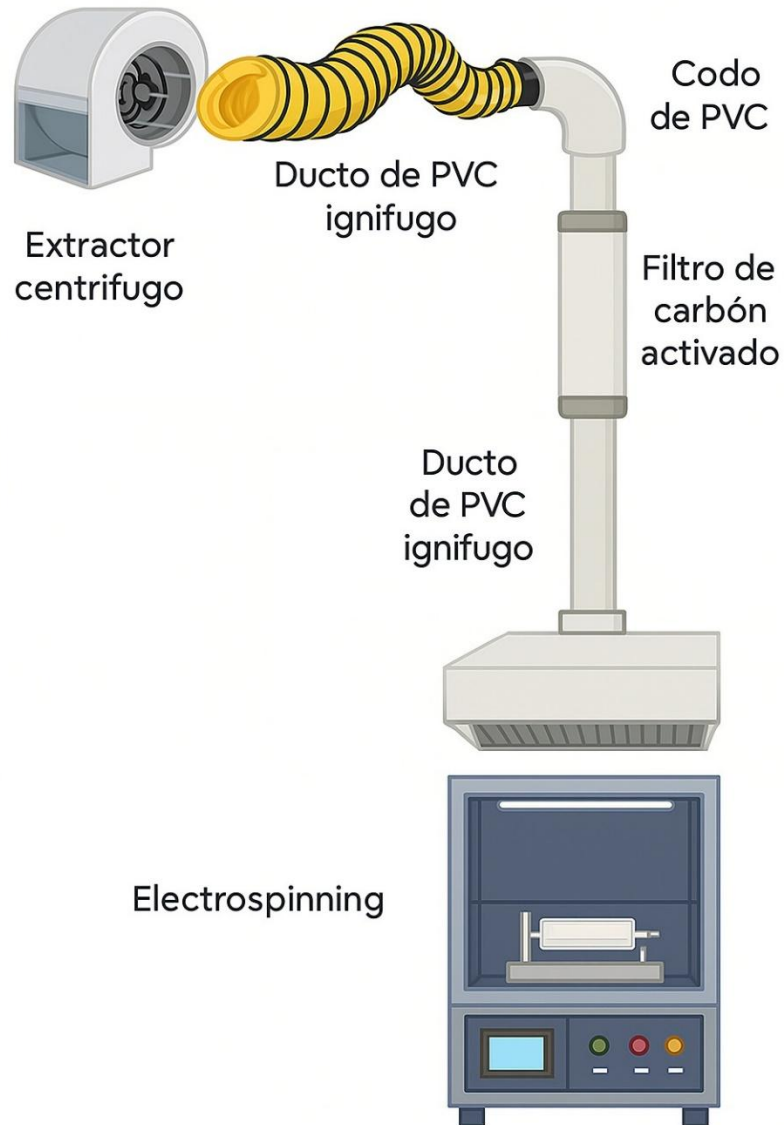


Figura 3.1 Sistema de ventilación
Autor: Macarena Santander Espinoza

CAPITULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA

CAPITULO 4: EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación técnica y económica del sistema de ventilación propuesto es fundamental para garantizar su viabilidad operativa y financiera. Este capítulo analiza los costos asociados a la implementación, operación y mantenimiento del sistema, así como su impacto energético y compatibilidad con la infraestructura existente. El objetivo es proporcionar una base sólida para la toma de decisiones y futuras inversiones.

4.1 BASES PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

El análisis económico del sistema de ventilación propuesto requiere una metodología estructurada que permita evaluar su viabilidad financiera a corto, mediano y largo plazo. Este proceso implica considerar múltiples factores económicos y técnicos que interactúan para determinar la rentabilidad y sostenibilidad de la inversión.

4.1.1 Tasa de impuesto

La tasa de impuesto aplicable al proyecto corresponde al porcentaje establecido por la legislación tributaria chilena que grava las utilidades generadas. En el contexto actual, se debe considerar:

- Impuesto de Primera Categoría (27% para empresas)
- Impuesto Adicional para distribuciones de utilidades
- Posibles beneficios tributarios por inversiones en I+D

Este componente es fundamental para:

- Calcular correctamente los flujos de caja después de impuestos
- Determinar el costo real de la inversión
- Evaluar alternativas de financiamiento
- Optimizar la estructura fiscal del proyecto

4.1.2 Tipo de cambio

El tipo de cambio representa una variable crítica dado que:

- Equipos especializados como ventiladores centrífugos y filtros HEPA frecuentemente son importados
- Las fluctuaciones cambiarias pueden impactar significativamente el presupuesto
- Se debe considerar:
 - Tipo de cambio histórico para proyecciones
 - Mecanismos de cobertura cambiaria

- Plazos de entrega de equipos importados
- Condiciones de pago en divisas

Un análisis de sensibilidad del tipo de cambio permite evaluar escenarios optimistas, pesimistas y base para la inversión.

En este proyecto se consideró el **valor del dólar** al 15 de julio, correspondiente a \$967.22

4.1.3 Tasa de descuento (10 – 12%)

Para la evaluación de proyectos, existen principalmente dos métodos para estimar la tasa de descuento: el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC) y el Modelo de Valoración de Activos de Capital (CAPM).

- El **WACC** calcula el costo del capital considerando la proporción y el costo de la deuda y el capital propio de la empresa.
- El **CAPM** determina la tasa de retorno requerida para un activo, basándose en una tasa libre de riesgo, una prima de riesgo de mercado y la beta del proyecto (riesgo sistemático).

Si bien la determinación de la tasa de descuento debe reflejar el costo de oportunidad del capital y el riesgo asociado al proyecto, considerando factores como la tasa libre de riesgo, la prima por riesgo y la inflación esperada, **la universidad ha establecido un valor único de tasa de descuento del 10% para evaluar de manera uniforme todos sus proyectos de inversión.**

Esta decisión institucional se justifica para homogeneizar los criterios de evaluación y por:

- La naturaleza técnica de sus proyectos.
- Los plazos de recuperación de la inversión típicos.
- Los riesgos operacionales asociados.
- La comparación con proyectos similares en el sector.

4.1.4 Depreciación (Lineal)

El método de depreciación lineal aplicado considera los siguientes criterios para calcular la pérdida de valor de los activos:

- a) **Vida útil estimada:** Si bien la vida útil general para equipos tecnológicos se establece en 5 años, el equipo central del sistema tiene una vida técnica y operativa superior, por lo que para este componente específico se aplica una vida útil de **8 años**.
- b) **Valor residual estimado.**
- c) **Impacto en los estados financieros.**

4.1.5 Indicadores

Tasa interna de retorno (TIR):

Representa la rentabilidad porcentual anual del proyecto

Se compara con la tasa de descuento para determinar viabilidad

Cálculo mediante iteración hasta que $VAN = 0$

Meta: $TIR > 10\%$ (tasa de corte)

Valor actual neto (VAN):

Sumatoria de flujos futuros descontados

Criterio de aceptación: $VAN > 0$

Análisis de escenarios con diferentes tasas

Análisis costo beneficio:

Costos:

- Inversión inicial (equipos, instalación)
- Operación (energía, mantenimiento)
- Recambios (filtros, componentes)

Beneficios:

- Reducción de riesgos laborales
- Cumplimiento normativo
- Mayor productividad
- Ahorros por eficiencia energética
- Relación $B/C > 1$ para justificar el proyecto

4.1.6 Horizonte de evaluación (5 años)

La selección de 5 años como horizonte de evaluación se basa en:

- Ciclo tecnológico de los equipos principales
- Periodos típicos de amortización en proyectos universitarios
- Vida útil de componentes críticos (filtros, sensores)
- Plazos para actualización tecnológica

Consideraciones especiales:

- Análisis de reposición de equipos al final del periodo
- Valor residual de los activos
- Posibles ampliaciones futuras

- Actualizaciones normativas esperadas

Metodología de Evaluación:

- Proyección de flujos anuales
- Cálculo de indicadores financieros
- Análisis de sensibilidad a variables clave
- Evaluación de escenarios alternativos
- Análisis de punto de equilibrio

4.2 ESTIMACIÓN DE LOS INGRESOS (Estimación de beneficios)

Este apartado cuantifica los beneficios económicos directos e indirectos que generará la implementación del sistema de ventilación. Se consideran:

Beneficios Tangibles:

- Ahorros en multas y sanciones por incumplimiento normativo (DS 594, ACGIH)
- Reducción de costos médicos asociados a enfermedades ocupacionales
- Mayor productividad al minimizar interrupciones por contaminación
- Eficiencia energética (si el diseño incluye recuperación de calor o ventilación variable)

Beneficios Intangibles (valorados cualitativamente):

- Cumplimiento de estándares internacionales (ASHRAE, OSHA)
- Mejora en la reputación institucional
- Atracción de colaboraciones científicas
- Reducción del riesgo legal por accidentes laborales

4.3 ESTIMACIÓN DE LOS EGRESOS

Este punto detalla todos los costos asociados al sistema de ventilación, clasificados en:

- Costos de Inversión Inicial:
 - Equipos, materiales e instalación
- Costos Operacionales:
 - Consumo energético
 - Mantenimiento preventivo y correctivo
 - Recambios de filtros y componentes
- Costos Indirectos:
 - Capacitación del personal
 - Modificaciones menores en infraestructura

4.3.1 Costos de inversión

Los costos de inversión son los gastos necesarios para adquirir, mantener o mejorar activos que generarán beneficios económicos en el futuro. Estos costos están asociados a proyectos o adquisiciones a largo plazo y no se consumen en el corto plazo, sino que se capitalizan (se registran como activos en el balance general) y luego se deprecian o amortizan.

Tipos de costos de inversión:

- Inversión inicial (Costo fijo):
 - Compra de maquinaria, equipos, edificios, terrenos, tecnología, etc.
 - Gastos de instalación y puesta en marcha.
 - Licencias, patentes o derechos de propiedad intelectual.
- Capital de trabajo:
 - Fondos necesarios para operar el negocio hasta que genere ingresos (ejemplo: inventario, salarios iniciales, gastos administrativos).
- Gastos preoperativos:
 - Estudios de mercado, consultorías, trámites legales, marketing inicial.
- Mejoras o ampliaciones:
 - Actualización de equipos, expansión de instalaciones, desarrollo de nuevos productos.

Se estimaron los siguientes costos de inversión inicial necesarios para el sistema de ventilación:

Tabla 4 Costos estimados de inversión

Ítem	Descripción	Costo (CLP)	Costo (USD)
Campana	Sistema de captación de aire diseñado para retirar humos, vapores y partículas en ambientes industriales o comerciales	1,690,000	1.746,88
Extractor centrífugo	Equipo de alta eficiencia para extracción y ventilación forzada, ideal para mover grandes volúmenes de aire con bajo consumo energético.	1,065,092	1,101.12
Ductos y accesorios	Tuberías y componentes complementarios (codos, juntas, soportes) para conducción segura de aire contaminado hacia el exterior o sistemas de filtrado.	313,315	323.92

Filtros de carbón activado	Filtros especializados que adsorben gases, olores y compuestos orgánicos volátiles (VOC), mejorando la calidad del aire interior.	260,004	268.82
Sensores de VOC	Detector de dióxido de carbono, detector de calidad del aire seis en uno, detección de temperatura y humedad.	471,704	487.69
Instalación eléctrica	Cableado, protecciones y conexiones para equipos.	357,000	369.09
Mano de obra	Instalación profesional por técnicos especializados	357,000	369.09
Permisos y certificaciones	Cumplimiento de normativas DS 594, ACGIH y ASHRAE	357,000	369.09
Total		4,413,231	4,562.79

4.3.2 Costos de operación

Los costos de operación (también llamados gastos operativos o costos operacionales) son los gastos necesarios para mantener el funcionamiento diario de un negocio o proyecto. A diferencia de los costos de inversión (que son gastos iniciales o a largo plazo), estos son recurrentes y se generan durante la actividad normal de la empresa.

Características principales:

- Son periódicos: Se repiten mensualmente, trimestralmente o anualmente (ej: alquiler, salarios, servicios públicos).
- No se capitalizan: Se registran como gastos en el estado de resultados (no como activos).
- Esenciales para la operación: Sin ellos, el negocio no podría funcionar.

Tipos de costos de operación:

- Costos fijos
No varían con el nivel de producción o ventas:
 - Alquiler de local.
 - Sueldos del personal administrativo.
 - Seguros y licencias.
 - Depreciación de equipos (aunque la inversión ya fue hecha, se reparte como gasto).
- Costos variables
Cambian según el volumen de actividad:
 - Materias primas o insumos.
 - Mano de obra directa (ej: horas extras).
 - Servicios como agua, luz (en producción industrial).

CAPITULO 5: MEMORIA DE CÁLCULO

CAPITULO 5: MEMORIA DE CÁLCULO

El presente capítulo tiene por objetivo detallar el desarrollo metodológico y los procedimientos de cálculo que sustentan el diseño del sistema de ventilación propuesto. A través de un enfoque cuantitativo y normativo, se presenta la memoria técnica que valida cada decisión de ingeniería, desde la estimación de la carga contaminante hasta el dimensionamiento de los componentes del sistema. Este apartado constituye el soporte fundamental para garantizar la eficacia, seguridad y viabilidad de la solución de control de emisiones de solventes orgánicos en el laboratorio de Electrospinning.

5.1 ESTIMACIÓN DE CANTIDAD DE SOLVENTES UTILIZADOS

Esta sección cuantifica los volúmenes de solventes orgánicos empleados en el proceso de Electrospinning, con base en la preparación de soluciones poliméricas reportadas en la literatura especializada. Se consideran los siete solventes críticos identificados: **acetona, dimetilformamida (DMF), cloroformo, tolueno, n-hexano, diclorometano (DCM) y éter dietílico**. Los cálculos se realizan para un volumen estándar de 100 mL de solución, lo que permite estandarizar las emisiones y facilitar el dimensionamiento del sistema de extracción.

5.1.1 Estimación de cantidad de acetona

La estimación de la cantidad de acetona se hace con una base de cálculo 100 mL de solución polimérica.

Para preparar una solución de 100 mL con un peso al 15% con una relación de 2:1 de Dimetilformamida (DMF) y acetona (Mankuni & Varghese, 2025).

Datos:

$$V (\text{Solución}) = 100 \text{ mL}$$

$$Y (\text{Acetona}) = 0.15$$

$$d (\text{DMF}) = 0.944 \text{ g/mL}$$

$$d (\text{Acetona}) = 0.784 \text{ g/mL}$$

2 partes de Dimetilformamida (DMF) por 1 parte de acetona

Supuesto:

Se considera volúmenes aditivos

Cálculos:

$$d = m / V$$

Ecuación 1. Densidad del solvente

d: Densidad

m: Masa

V: Volumen

$$d (s) = d (\text{Acetona}) \times Y (\text{Acetona}) + d (\text{DMF}) \times Y (\text{DMF})$$

Ecuación 2. Densidad de la solución

d (s): Densidad de la solución

d (Acetona): Densidad de la acetona

d (DMF): Densidad de DMF

Y (Acetona): Fracción másica de acetona

Y (DMF): Fracción másica de DMF

De la **Ecuación 2.** Se obtiene 0.92 g/mL

$$d (s) = 0.92 \frac{g}{mL}$$

$$m (s) = V (\text{Solución}) \times d (s)$$

Ecuación 3. Masa de la solución

m (s): Masa de la solución (Acetona + DMF)

V (Solución): Volumen de la solución

De la **Ecuación 3.** Se obtiene 92 g

$$m (s) = 92 \text{ g}$$

$$m(\text{Solute}) = Y(\text{Acetona}) \times m(s)$$

Ecuación 4. Masa del soluto

$m(\text{solute})$: Masa del soluto

De la **Ecuación 4.** Se obtiene 13.8 g

$$m(\text{Solute}) = 13.8 \text{ g}$$

$$m(\text{Disolventes}) = m(s) - m(\text{Solute})$$

Ecuación 5. Masa de disolventes

$m(\text{Disolventes})$: Masa de disolventes

De la **Ecuación 5.** Se obtiene 78.2 g

$$m(\text{Disolventes}) = 78.2 \text{ g}$$

La relación 2:1 corresponde a 3 partes en total:

$$M(\text{DMF}) = \frac{2}{3} \times m(\text{Disolventes})$$

Ecuación 6. Masa de DMF

$M(\text{DMF})$: Masa de DMF

De la **Ecuación 6.** Se obtiene 52.12 g

$$M(\text{DMF}) = 52.12 \text{ g}$$

$$M(\text{Acetona}) = \frac{1}{3} \times m(\text{Disolventes})$$

Ecuación 7. Masa de acetona

$M(\text{Acetona})$: Masa de acetona

De la **Ecuación 7.** Se obtiene 26.06 g

$$M (\text{Acetona}) = 26.06 \text{ g}$$

$$V (\text{Acetona}) = \frac{M (\text{Acetona})}{d (\text{Acetona})}$$

Ecuación 8. Volumen de acetona

V (Acetona): Volumen de acetona

De la **Ecuación 8.** Se obtiene 33.2 mL

$$V (\text{Acetona}) = 33.2 \text{ mL}$$

5.1.2 Estimación de cantidad de dimetilformamida (DMF)

La estimación de la cantidad de dimetilformamida se hace con una base de cálculo 100 mL de solución polimérica

Para preparar una solución de 100 mL con un peso al 90% de DMF (Diwan, Abudi, Al-Furaiji & Farsani, 2025) y un 10% de PVDF

Datos:

$$V (\text{Solución}) = 100 \text{ mL}$$

$$Y (\text{DMF}) = 0.9$$

$$Y (\text{PVDF}) = 0.1$$

Cálculos:

$$V (\text{DMF}) = V (\text{Solución}) \times Y (\text{DMF})$$

Ecuación 9. Volumen de DMF

$$V (\text{DMF}) = \text{Volumen de DMF}$$

$$V (\text{Solución}) = \text{Volumen de la solución}$$

$$Y (\text{DMF}) = \text{Fracción de DMF}$$

De la **Ecuación 9**. Se obtiene 90 mL

$$V (\text{DMF}) = 90 \text{ mL}$$

5.1.3 Estimación de cantidad de cloroformo

La estimación de la cantidad de cloroformo se hace con una base de cálculo 100 mL de solución polimérica.

Para preparar una solución de 100 mL de PCL 15% p/v que se disolvió en una mezcla de cloroformo (Wang, Xia, Zhou, Williams, Amler, Zhou & Liu, 2025) y DMF (4/1, v/v).

Datos:

$$V (\text{Solución}) = 100 \text{ mL}$$

4:1 → 4 partes de cloroformo por 1 parte de DMF (volumen: volumen)

Cálculos:

$$V (\text{Cloroformo}) = \frac{4}{5} \times V (\text{Solución})$$

Ecuación 10. Volumen de cloroformo

V (Cloroformo): Volumen de cloroformo

De la **Ecuación 10**. Se obtiene 80 mL

$$V (\text{Cloroformo}) = 80 \text{ mL}$$

5.1.4 Estimación de cantidad de tolueno

La estimación de la cantidad de tolueno (Patil, Zhao, Puthiyaveetil, Louhichi & Rastogi, 2025) se hace con una base de cálculo 100 mL de solución polimérica.

Para preparar una solución de 100 ml de MAO (10% en peso de tolueno).

Datos:

$$V (\text{Solución}) = 100 \text{ mL}$$

$$Y (\text{MAO}) = 0.90$$

$$Y (\text{Tolueno}) = 0.10$$

$$d (\text{Tolueno}) = 0.87 \text{ g/mL}$$

$$d (\text{MAO}) = 1.6 \text{ g/mL}$$

$$d (\text{Solución}) = 2.47 \text{ g/mL}$$

Cálculos:

$$m (\text{Solución}) = V (\text{Solución}) \times d (\text{Solución})$$

Ecuación 11. Masa de la solución

$m (\text{Solución})$: Masa de la solución

$V (\text{Solución})$: Volumen de la solución

$d (\text{Solución})$: Densidad de la solución

De la **Ecuación 11**. Se obtiene 247 g

$$m (\text{Solución}) = 247 \text{ g}$$

$$m (\text{Tolueno}) = m (\text{Solución}) \times Y (\text{Tolueno})$$

Ecuación 12. Masa del tolueno

$m (\text{Tolueno})$: Masa del tolueno

$Y (\text{Tolueno})$: Fracción en peso del tolueno

De la **Ecuación 12**. Se obtiene 24.7 g

$$m (\text{Tolueno}) = 24.7 \text{ g}$$

$$V (\text{Tolueno}) = \frac{m (\text{Tolueno})}{d (\text{Tolueno})}$$

Ecuación 13. Volumen de tolueno

V (Tolueno): Volumen del tolueno

De la **Ecuación 13**. Se obtiene 28.39 mL

$$V (\textit{Tolueno}) = 28.39 \textit{ mL}$$

5.1.5 Estimación de cantidad de diclorometano (DCM)

La estimación de la cantidad de diclorometano (DCM) se hace con una base de cálculo 100 mL de solución polimérica.

Para preparar una solución de 100 ml de diclorometano (DCM) (Weng, Hu, Wang & Hu, 2025) y dimetilformamida (DMF) en una proporción volumétrica de 7:3 (DCM: DMF)

Datos:

V (Solución) = 100 mL

Relación de disolventes: 7:3 → 7 partes de DCM por 3 partes de DMF

Cálculo:

$$V (\textit{DCM}) = \frac{7}{10} \times V (\textit{Solución})$$

Ecuación 14. Volumen de DCM

V (DCM): Volumen de DCM

De la **Ecuación 14**. Se obtiene 70 mL

$$V (\textit{DCM}) = 70 \textit{ mL}$$

Tabla 5 Resumen de cálculo de cantidad

Solvente	Cantidad (mL)	Tiempo de exposición (h)
Acetona	33.2	8
Dimetilformamida	90	8
Cloroformo	80	8
Tolueno	28.39	8
Dicloro metano	70	8

5.2 ESTIMACIÓN RIESGO HIGIÉNICO

En esta sección se evalúa el riesgo higiénico asociado a la exposición ocupacional a solventes orgánicos durante las etapas de preparación, operación y limpieza del proceso de Electrospinning. Mediante el cálculo del Índice de Exposición (IE), que compara la Concentración Promedio Ponderada (CPP) de cada solvente con su Límite Permissible Ponderado (LPP), se identifica el nivel de riesgo y se priorizan los compuestos que requieren medidas de control inmediatas, en cumplimiento del DS 594 y estándares de la ACGIH

Supuestos:

- Se utilizó la misma cantidad de solventes para las 3 etapas
- Al despreciar se asumirá valor = 0

Datos:

V (Laboratorio) = 78.34 m³

Tabla 5-1 Valores para la estimación de cantidad

Solventes	Cantidad Utilizada (mL)	Densidad (g/mL)
Acetona	33.2	0.784
Dimetilformamida	90	0.944
Cloroformo	80	1.49
Tolueno	28.39	0.867
N-Hexano	30	0.661
Dicloro metano	70	1.33
Éter dietílico	60	0.713

Cálculos:

$$C = \left(\frac{C_{utilizada} \times d \times 1000}{8 h} \right) \div V (\text{Laboratorio})$$

Ecuación 15. Cantidad de los solventes

C: Cantidad de solventes

C utilizada: Cantidad utilizada en mL

d: Densidad

Tabla 5-2 Cantidad de solventes obtenidos con la **Ecuación 15**.

Solventes	Cantidad (mg/m ³)	Tiempo		
		Preparación (h)	Operación (h)	Limpieza (h)
Acetona	41.53	2	2	0.5
Dimetilformamida	135.56	6	2	1
Cloroformo	190.19	12	2	1
Tolueno	39.27	1	1	0.5
N-Hexano	31.64	0.25	0.0236	0.5
Dicloro metano	148.55	1	1.5	-
Éter dietílico	68.26	2	0.67	0.5
-	Valor de desprecia porque constantemente se está evaporando			

$$CPP = \frac{(CP \times TP + CO \times TO + CL \times TL)}{TP + TO + TL}$$

Ecuación 16. Concentración promedio ponderada

CPP: Concentración promedio ponderada

CP: Concentración de preparación

TP: Tiempo de preparación

CO: Concentración en operación

TO: Tiempo de operación

CL: Concentración de limpieza

TL: Tiempo de limpieza

Tabla 5-3 Concentración promedio ponderada

Solventes	CPP (mg/m³)	LPP (mg/m³)
Acetona	41.53	1424
Dimetilformamida	135.56	20
Cloroformo	190.19	43
Tolueno	39.27	175
N-Hexano	31.64	72
Dicloro metano	148.55	70
Éter dietílico	68.26	970

a) Riesgo higiénico con IE

$$IE = \frac{CPP}{Lpp}$$

Ecuación 17. Índice de exposición

IE: Índice de exposición

CPP: Concentración promedio ponderada

LPP: Limite permisible ponderado

Tabla 5-4 Estimación riesgo higiénico con IE obtenida de la **Ecuación 17.**

Solventes	Índice de exposición (IE)
Acetona	0.03
Dimetilformamida	6.78
Cloroformo	4.42
Tolueno	0.22
N – Hexano	0.44
Dicloro metano	2.12
Éter dietílico	0.07

5.3 BALANCE DE MATERIALES

Esta sección cuantifica la masa de solventes emitida durante el proceso de Electrospinning y el caudal de aire teórico necesario para diluirla hasta niveles seguros. A partir de los volúmenes utilizados y las propiedades de cada solvente, se calcula su tasa de generación másica (G). Al contrastar este valor con los Límites Permisibles Ponderados (LPP), se determina el caudal de dilución (Q) para cada compuesto, validando así el dimensionamiento del sistema de ventilación propuesto.

Datos:

Tabla 5-5 Valores para el balance de materiales

Solventes	Cantidad utilizada (mL)	Densidad (g/mL)	LPP (mg/m ³)
Acetona	33.20	0.784	1424
Dimetilformamida	90	0.944	20
Cloroformo	80	1.49	43
Tolueno	28.39	0.867	175
N-Hexano	30	0.661	72
Dicloro metano	70	1.33	70
Éter dietílico	60	0.713	970

Cálculos:

$$m = V \times d$$

Ecuación 18. Masa del solvente

m: Masa del solvente

V: Volumen del solvente

d: Densidad del solvente

Tabla 5-6 Resultados obtenidos de la **Ecuación 18.**

Solventes	Masa del solvente (g)
Acetona	26.03
Dimetilformamida	84.96
Cloroformo	119.20
Tolueno	24.61
N-Hexano	19.83
Dicloro metano	93.10
Éter dietílico	42.78

$$G = \frac{m}{8h} \times 1,000$$

Ecuación 19. Generación de masa

G: Generación de masa

Tabla 5-7 Resultados obtenidos de la **Ecuación 19.**

Solventes	Generación de masa (mg/h)
Acetona	3,250
Dimetilformamida	10,620
Cloroformo	14,900
Tolueno	3,080
N-Hexano	2,480
Dicloro metano	11,640
Éter dietílico	5,350

$$Q = \frac{G}{LPP}$$

Ecuación 20. Caudal requerido

Q: Caudal requerido

LPP: Limite permisible ponderado

Tabla 5-8 Resultados obtenidos de la **Ecuación 20.**

Solventes	Caudal requerido (m³/h)
Acetona	2.28
Dimetilformamida	531
Cloroformo	346.51
Tolueno	17.60
N-Hexano	34.44
Dicloro metano	166.29
Éter dietílico	5.52

5.4 SISTEMA DE VENTILACIÓN

El dimensionamiento del sistema de ventilación se basa en los requerimientos de caudal de aire para controlar las emisiones en la fuente (ventilación localizada). Esta sección presenta el cálculo de los caudales por extraer para el equipo de Electrospinning y la campana de extracción, utilizando los criterios de velocidad de captura establecidos por la ACGIH y los estándares de renovación de aire aplicables.

5.4.1 Ventilación localizada (Electrospinning)

Datos:

$$v_{ce} = 0.5 \text{ m/s}$$

$$d_a = 0.15 \text{ m}$$

Cálculo de A_{ae} :

$$A_{ae} = \frac{\pi \times d_a^2}{4}$$

Ecuación 21. Área de apertura del equipo electrospinning

A_{ae} : Área de apertura del equipo electrospinning

d_a : Diámetro de apertura

De la **Ecuación 21**. Se obtiene 0.0177 m^2

$$A_{ae} = 0.0177 \text{ m}^2$$

Cálculo de Q_e :

$$Q_e = v_{ce} \times A_{ae}$$

Ecuación 22. Caudal por extraer del equipo electrospinning

Q_e : Caudal por extraer del equipo Electrospinning

v_{ce} : Velocidad de captura del equipo Electrospinning

De la **Ecuación 22**. Se obtiene $31.86 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_e = 31.86 \frac{m^3}{h}$$

5.4.2 Ventilación localizada (Campana)

Datos:

$$v_{cc} = 0.6 \text{ m/s}$$

$$L = 1.50 \text{ m}$$

$$A = 0.6 \text{ m}$$

Cálculo de A_{ac} :

$$A_{ac} = L \times A$$

Ecuación 23. Área de apertura de la campana

A_{ac} : Área de apertura de la Campana

L: Largo

A: Ancho

De la **Ecuación 23.** Se obtiene 0.9 m^2

$$A_{ac} = 0.9 \text{ m}^2$$

Cálculo de Q_c

$$Q_c = v_{cc} \times A_{ac}$$

Ecuación 24. Caudal por extraer de la campana

Q_c : Caudal por extraer de la Campana

v_{cc} : Velocidad de captura de la Campana

De la **Ecuación 24.** Se obtiene $0.54 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_c = 0.54 \frac{m^3}{h}$$

5.4.3 Ventilación Laboratorio

Datos:

$$V_L = 78.34 \text{ m}^3$$

$$N = 12$$

Cálculo de Q_L

$$Q_L = N \times V_L$$

Ecuación 25. Caudal de ventilación general del laboratorio

Q_L = Caudal de ventilación general del laboratorio

V_L = Volumen del laboratorio

N = Número de renovaciones por hora

De la **Ecuación 25**. Se obtiene $940.08 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_L = 940.08 \frac{m^3}{h}$$

5.4.4 Ventilación total

Cálculo de Q_T :

$$Q_T = Q_c + Q_e + Q_L$$

Ecuación 26. Caudal total del sistema

Q_T : Caudal total del sistema

De la **Ecuación 26**. Se obtiene $972.48 \text{ m}^3/\text{h}$

$$Q_T = 972.48 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Tabla 5-9 Resumen sistema de ventilación

Equipo y/o localización	Área de apertura (m^2)	Caudal de extracción (m^3/h)
Electrospinning	0.0177	31.86
Campana	0.9	0.54
Laboratorio	No tiene	940.08
Total		972.48

5.5 COSTO DE BENEFICIO

Datos:

$NC = 144,000,000$ (CLP)

Y (Respiratorio) = 0.03

Cálculos:

$$CB = NC \times Y \text{ (Respiratorio)}$$

Ecuación 27. Costo de beneficio

CB: Costo de beneficio

NC: Costo número de trabajadores con su costo anual

Y (Respiratorio): Fracción porcentual de enfermedades profesionales respiratorias 2024 de la **SUSESO**.

De la **Ecuación 27**. Se obtiene 4,413,231 CLP

$$CB = 4,413,231 \text{ CLP}$$

5.6 COSTO DE CONSUMO

La evaluación económica operacional del sistema de ventilación es fundamental para garantizar su sostenibilidad financiera. En esta sección se calculan los costos anuales de operación, incluyendo el consumo eléctrico, el recambio periódico de filtros de carbón activado y el mantenimiento preventivo del sistema. Estos valores permiten completar el análisis de viabilidad económica y facilitan la planificación presupuestaria para la implementación y mantenimiento del sistema.

5.6.1 Costo consumo eléctrico

Datos:

$$P = 0,55 \text{ (kW)}$$

$$t = 1920 \text{ (kWa)}$$

$$C = 150 \text{ (CLP/ kWa)}$$

Cálculos:

$$Cc = P \times t \times C$$

Ecuación 28. Costo consumo

Cc: Costo consumo

P: Potencia

t: Tiempo

C: Consumo

De la **Ecuación 28**. Se obtiene 158,400 CLP/año

$$Cc = 158,400 \frac{\text{CLP}}{\text{año}}$$

5.6.2 Recambio de filtros

Datos:

Recambio cada 3 meses \rightarrow 4 recambios/año

$C_f = 450,000$ (CLP/mes)

$n_f = 4$

Cálculos:

$$C_{f,anual} = C_f \times n_f$$

Ecuación 29. Costos por el recambio de filtros anual

$C_{f,anual}$: Costos por el recambio de filtros

n_f : Numero de recambios

C_f : Costos por el recambio de filtros mensual

De la **Ecuación 29**. Se obtiene 1,800,000 CLP/año

$$C_{f,anual} = 1,800,000 \left(\frac{CLP}{año} \right)$$

5.6.3 Mantenimiento ventilación

Datos:

$C_m = 150,000$ (CLP/mes)

$n_m = 2$

Cálculos:

$$C_{m,anual} = C_m \times n_m$$

Ecuación 30. Costo mantenimiento anual

$C_{m, anual}$: Costo de mantenimiento

C_m : Costo de mantenimiento mensual

n_m : Numero de mantenimientos al año

De la **Ecuación 30**. Se obtiene 300,000 CLP/año

$$C_{m,anual} = 300,000 \frac{CLP}{año}$$

Tabla 5-10 Resumen costo consumo

Costo	Valor (CLP/año)	Valor (USD/año)
Eléctrico	285,120	294.78
Recambio de filtros	1,800,000	1,861.00
Mantenimiento	300,000	310.17
Total	2,385,120	2,465.95

CONCLUSIÓN

A través del desarrollo de este proyecto, se logró implementar un sistema de ventilación localizada que permito controlar eficazmente las emisiones de solventes orgánicos generados durante el proceso de Electrospinning en el laboratorio de biomateriales de la USM.

Se caracterizaron los siete solventes orgánicos utilizados (acetona, DMF, cloroformo, tolueno, n-hexano, diclorometano y éter dietílico), analizando sus propiedades fisicoquímicas, toxicidad, volatilidad y comportamiento durante las etapas de preparación, operación y limpieza. Este análisis permitió identificar los solventes de mayor riesgo (DMF, cloroformo y diclorometano) y fundamentar la selección de los sistemas de control adecuados, priorizando aquellos con índices de exposición (IE) superiores a 1 (acetona IE= 0.03, DMF IE= 6,78, cloroformo IE=4.42, tolueno IE= 0.22, n-hexano IE= 0.44, diclorometano IE= 2.12 y éter dietílico IE= 0.07). Los resultados destacan la importancia de implementar controles técnicos específicos, como filtros de carbón activado para solventes críticos (DMF, cloroformo y diclorometano).

Se determinaron los parámetros de diseño del sistema de extracción, incluyendo caudales de aire, velocidades de captura (0,5 m/s para el equipo de Electrospinning y 0,6 m/s para la campana) y la necesidad de incorporar filtros de carbón activado para la adsorción de vapores orgánicos críticos. Los cálculos se basaron en metodologías reconocidas (ACGIH, ASHRAE). El diseño propuesto, con un caudal total de 32.18 m³/h, cumple con los estándares de la ACGIH y normativas chilenas (DS 594, Decreto 44), optimizando la captura de contaminantes en la fuente y minimizando la exposición del personal.

Se seleccionaron los equipos y componentes idóneos para el sistema, como el extractor centrífugo de alta eficiencia, ductos de PVC resistentes a solventes, filtros de carbón activado de alta capacidad y sensores de VOC para monitoreo continuo. Esta selección se realizó considerando criterios de compatibilidad química, eficiencia energética, facilidad de mantenimiento y bajo nivel de ruido, asegurando la integración armónica con la infraestructura existente y la operación segura del laboratorio.

Se evaluó la viabilidad económica del sistema, estimando una inversión inicial de aproximadamente \$4,320,000 CLP y costos operativos anuales de \$2,258,400 CLP. El análisis demostró que, si bien la inversión es significativa, los beneficios en términos de reducción de riesgos laborales, cumplimiento normativo y sostenibilidad ambiental justifican plenamente su implementación.

La implementación de un sistema de ventilación para controlar las emisiones de solventes orgánicos durante el proceso de Electrospinning en el laboratorio de biomateriales de la USM se presenta como una solución técnica fundamentada y

necesaria para garantizar la seguridad ocupacional, el cumplimiento normativo y la sostenibilidad ambiental.

En conclusión, este trabajo no solo proporciona una solución técnica viable para el laboratorio de biomateriales, sino que también refuerza la importancia de integrar medidas de prevención de riesgos en procesos que involucren sustancias peligrosas. La implementación del sistema de ventilación propuesto permitirá operar en condiciones seguras, cumplir con las normativas vigentes y potenciar la investigación en el campo de los biomateriales, alineándose con los principios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

REFERENCIAS

- Augusty, A. C., Rangkupan, R., & Klaysom, C. (2024). Evaluating Post-Treatment Effects on Electrospun Nanofiber as a Support for Polyamide Thin-Film Formation. *Polymers*, 16(5), 713
- Billmeyer, F. W. (2020). *Ciencia de los polímeros*. Reverté.
- Diwan, T., Abudi, Z. N., Al-Furaiji, M. H., & Farsani, R. Y. (2025). Fabrication of the Polyvinyl fluoride Nanofibers Membranes Via Electrospinning Technique for Oil Removal. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 29(3), 344-350.
- Farras, M., & Martinez, A. M. (2010). Ventilación general en hospitales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España.
- Fernández, I. J. (2003). Polímeros en solución y aplicación de los polímeros en la industria petrolera. *Revista iberoamericana de polímeros*, 4(2), 1-14.
- Figuroa Cordero, A. F., & Larrea Galindo, R. I. (2021). Diseño y simulación de un sistema de climatización y ventilación del Laboratorio de Sensopercepción y Cámara de Gesell de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca (Bachelor's thesis).
- Joshi, D. R., & Adhikari, N. (2019). An overview on common organic solvents and their toxicity. *J. Pharm. Res. Int*, 28(3), 1-18.
- Mankuni, A., & Varghese, S. (2025). High-Performance Underwater Energy Harvesting using Flexible Piezoelectric Nanogenerator Based on Electrospun Polyvinylidene Fluoride-LiNbO₃ Fibers. *Nano Energy*, 111042.
- Molfino, H., Alcalde-Yañez, A., Valverde-Morón, V., & Villanueva-Salvatierra, D. (2020). Electrospinning: Avances y aplicaciones en el campo de la biomedicina. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 20(4), 706-713.
- Mora-Barrantes, J. C., Morera-Ramos, L., Ulate-Salas, M., Núñez-Agüero, V., Acuña-Salazar, E., & Cordero-Carvajal, M. (2022). Clasificación del riesgo químico de solventes orgánicos mediante la aplicación del método "CHEM21 selection guide of classical and less classical-solvents. *Revista Tecnología en Marcha*, 35(1), 28-43.
- Patil, Y., Zhao, J., Puthiyaveetil, M. T., Louhichi, A., & Rastogi, S. (2025). Influence of polymerization conditions on enhancement of crystallization rate in isotactic polystyrene. *Polymer*, 326, 128333.
- Sánchez Montero, J. M. (2009). *Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente*. Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia.
- Sanchez, L. D., Rodriguez, L., & López, M. (2013). *Electrospinning: la era de las nanofibras*.

Stuart, R., Sweet, E., & Batchelder, A. (2015). Assessing general ventilation effectiveness in the laboratory. *Journal of Chemical Health and Safety*, 22(2), 2-7.

Syamitra, B., Parasuraman, S., Yeng, W. Y., Ping, W. Y., Thujithra, J., Kumar, J., & Dhanaraj, S. A. (2014). A review on adverse health effects of laboratory volatile solvents. *Int. J. Clin. Ther. Diagn*, 2, 59-63.

Thitiwongsawet, P., Boonruang, T., & Noochsuparb, T. (2016). Electrospun Cellulose Acetate Fiber Mats as Carriers for Crude Extracts From *Phyllanthus Emblica* Linn. Fruits. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 39, p. 03001). EDP Sciences.

Wang, H., Xia, R., Zhou, M., Williams, G. R., Amler, E., Zhou, F. L., ... & Liu, C. (2025). The Development of a Coaxial Electrospinning Formula Using Fish Gelatin/PBS as the Core for Structurally Intact Liposome Loading and Release. *Polymers*, 17(7), 944.

Weng, Q. H., Hu, M. H., Wang, J. F., & Hu, J. J. (2025). Enhancing the flexibility and hydrophilicity of PLA via polymer blends: electrospinning vs. Solvent casting. *Polymers*, 17(6), 800.

ANEXO

Etapa 1 Caracterización de solventes orgánicos

- a) Levantar un listado detallado de los solventes orgánicos empleados en cada etapa del proceso de producción (preparación de soluciones, limpieza, etc.).
- b) Recopilar las hojas de seguridad de cada solvente para conocer su toxicidad, inflamabilidad, presión de vapor, punto de ebullición, etc.
- c) Analizar parámetros como: punto de inflamación, volatilidad, densidad, viscosidad, solubilidad, entre otros.
- d) Estimar cantidades con la que se emplean los solventes en condiciones típicas de operación.
- e) Determinar en qué etapas del proceso los solventes se evaporan o liberan (e.g., durante el Electrospinning, la manipulación, o el almacenamiento).
- f) Clasificar los solventes según su nivel de peligrosidad y estimar el riesgo potencial de exposición para el personal en condiciones normales de trabajo.

Etapa 2 Parámetros de diseño

- a) Estimar el flujo de aire necesario para diluir o capturar contaminantes, según normativas y guías técnicas (por ejemplo, ACGIH o ASHRAE).
- b) Calcular la velocidad mínima del aire en los puntos de emisión para garantizar una captación efectiva.
- c) Identificar si se requieren filtros HEPA, de carbón activado u otros sistemas según los contaminantes presentes.
- d) Verificar que los parámetros definidos cumplan con las normativas nacionales e internacionales en seguridad y medio ambiente.
- e) Evaluar distintos tipos de equipos para las emisiones de solventes orgánicos.

Etapa 3 Selección de equipos

- a) Elegir equipos con el caudal y presión estática requeridos, considerando eficiencia energética y bajo nivel de ruido.
- b) Seleccionar filtros según los tipos de solventes, concentraciones y mantenimiento requerido.
- c) Escoger materiales resistentes a la corrosión y solventes (e.g., acero inoxidable o PVC especializado).
- d) Elaborar un diagrama de flujo del sistema de ventilación localizada y sus accesorios en el equipo de Electrospinning.
- e) Incorporar dispositivos como sensores de VOCs, monitores de flujo y alarmas para garantizar el funcionamiento seguro.

Etapa 4 Evaluación técnica y económica

- a) Verificar si la solución propuesta puede ser implementada sin interferir con la operación del laboratorio ni requerir modificaciones mayores en la infraestructura.
- b) Estimar los costos de mano de obra para la instalación del sistema de ventilación.
- c) Cálculo de inversión inicial por ítem: equipos principales, ductos, filtros, sensores, instalación eléctrica, mano de obra, permisos, etc.
- d) Estimar costos por consumo eléctrico, recambio de componentes, mantenimientos preventivos y correctivos.
- e) Cálculo de consumo de energía por la utilización del sistema de ventilación.

Valor del dólar el 15 de julio de 2025

Home / Valores y fechas / Dólar Observado

Valores y fechas

- UF
- Dolar
- UTM-UTA-IPC
- Datos y valores de Renta
- Datos y valores de IVA
- Otros Valores

Normativa y legislación

Redes sociales

Sitios de interés

Sobre el SII

Mi Sii Servicios online Ayuda Contacto

Dólar Observado Compartir

Julio 2025 Exportar a Excel

En la siguiente tabla se presenta para el mes seleccionado del año 2025, las respectivas Cotización del Dólar Observado (Pesos por 1US\$) de acuerdo con lo establecido en el N° 6 del Capítulo I, del Título I, del Compendio de Normas de Cambios Internacionales (CNCI), **las cuales están en función de las transacciones efectuadas por las empresas bancarias en el día hábil bancario anterior.**

Si selecciona "Todos los meses", se despliegan todas las tablas hacia abajo y cada tabla corresponde a un mes del año

Julio

1	933.42	11	950.43	21	961.55
2	926.62	12		22	956.65
3	926.51	13		23	953.4
4	927.87	14	955.73	24	948.93
5		15	967.22	25	951.27
6		16		26	
7	932.34	17	965.65	27	
8	940.28	18	966.78	28	957.82
9	945.39	19		29	969.75
10	948.33	20		30	970.09

COTIZACIONES

1. Campana de recirculación de acero inoxidable

VSC GRUPO INDUSTRIAL ventilación y climatización

Buscar productos CATEGORÍAS TIENDA INICIAR SESIÓN / REGISTRARSE \$0

TODAS LAS CATEGORÍAS INICIO CAMPANAS ACERO INOXIDABLE CAMPANAS MEDITERRÁNEAS CAMPANAS DE RECIRCULACION BLOG

Inicio / Campana de Recirculación / campana de recirculación de acero inoxidable - medidas 1.50 X 1.00 X 0.60



campana de recirculación de acero inoxidable – medidas 1.50 X 1.00 X 0.60

\$1.690.000 IVA incluido

1 ANADIR AL CARRITO

Comparar Añadir a la lista de deseos

SKU: G1526-CAMDRE001

Categoría: Campana de Recirculación

Compartir: f t in

¿Tiene alguna pregunta? Chatee con nosotros.

2. Extractor centrifugo de baja presión

EXTRACTORES DE AIRE CL

LÍNEA COMERCIAL LÍNEA HABITACIONAL OUTLET VENTILADORES INDUSTRIALES GABINETES PORTA FILTROS CORTINAS DE AIRE INDUSTRIAL CAMPANAS ACERO INOXIDABLE MOTORES ELÉCTRICOS HOJALATERIA PROFESIONAL

Inicio / Productos / EXTRACTOR CENTRIFUGO BAJA PRESION CBM-10/10 550 4PC VR KIT



EXTRACTOR CENTRIFUGO BAJA PRESION CBM-10/10 550 4PC VR KIT

SKU: L0455128956900KIT

SOLER & PALAU


Disponibile

\$ 895.035- 1 + **Agregar al carro**

EXTRACTOR CENTRIFUGO BAJA PRESION CBM-10/10 550 4PC VR KIT 550 W - 3.300 m3/h - 66 (dB(A)) Garantía 12 meses.

DOBLE ASPIRACIÓN CON MOTOR DE ROTOR EXTERIOR DE 4 POLOS Y RODETE DE ÁLABES HACIA ADELANTE. INCLUYE CAJA ENVOLVENTE Y PIE DE SOPORTE.

3. Ducto ignífugo PVC



EXTRACTORES/SHARPLACECL

LÍNEA COMERCIAL

LÍNEA HABITACIONAL

OUTLET VENTILADORES INDUSTRIALES

GABINETES PORTA FILTROS


CORTINAS DE AIRE INDUSTRIAL

CAMPANAS ACERO INOXIDABLE

MOTORES ELÉCTRICOS

HOJALATERIA PROFESIONAL

Inicio / Productos / DUCTO IGNÍFUGO PVC ALMA METÁLICA 300 MM. X 10 MTS AMARILLO



DUCTO IGNÍFUGO PVC ALMA METÁLICA 300 MM. X 10 MTS AMARILLO

SKU: 30010

FAB. CHINA

Disponibile.

\$ 180.314

-

+

Agregar al carro

DUCTO IGNÍFUGO PVC ALMA METÁLICA 300 MM. X 10 MTS AMARILLO

Compartir en: [f](#) [t](#) [p](#) [t](#) [in](#) [w](#)

4. Adaptador estilo C de PVC



Visitar la tienda de Compra Internacional

Nuevo ♥

Adaptador De Aire De Reducción De Conductos Estilo C

\$ 9.804

\$ 7.843 20% OFF

6 cuotas de \$ 1.307 sin interés

\$ 7000 OFF Dinero disponible en Mercado Pago

Ver medios de pago y promociones

COMPRA INTERNACIONAL ▼

Envío internacional \$ 6.156

[Más formas de entrega](#)

Sin costos de importación

¡Última disponible!

Comprar ahora

Agregar al carrito

Vendido por [SHARPLACECL](#)

+100 ventas

↻ [Devolución gratis.](#) Tienes 30 días desde que lo recibes.

🛡️ [Compra Protegida,](#) recibe el producto que esperabas o te devolvemos tu dinero.









+2

5. Filtro de carbón activado



Filtro de Carbón Activo Kasvi 10" (250x600mm)

\$ 218.491 ~~\$ 229.990~~ -5%

☆☆☆☆☆ | Escribe una reseña

0 Reviews

▲
▼
Agregar a carro


✔ DISPONIBLE

El Filtro de Carbón Activado 250x600 de Kasvi, con una capacidad de 1280 m³/h, es perfecto para espacios de cultivo grandes que requieren control eficiente de olores y aire limpio. Fabricado con carbón australiano de alta pureza, garantiza una eliminación efectiva de partículas y compuestos volátiles. Su diseño robusto, fácil de instalar y sostenible, lo hace una opción ideal para sistemas de ventilación exigentes.

6. Monitor de calidad de aire

TRECK MENÚ Sé distribuidor Sucursales Sigue tu pedido Venta Empresa

[Home](#) > [Equipos e Instrumentos](#) > [Instrumentos](#) > [Monitor De Calidad Del Aire V2 Honeywell Para CO2 Incluye Soporte Pared](#)



HONEYWELL SAFETY

Monitor De Calidad Del Aire V2 Honeywell Para CO2 Incluye Soporte Pared

SKU: 10-01-446

\$396.390

▲
▼

Agregar Al Carro

Ficha Técnica

7. Valor referencial del precio de mano de obra

habitissim DIRECTORIO DE PROFESIONALES GUÍA DE PRECIOS COMUNIDAD Q

Precio de Electricistas

¿Cuánto cuesta un trabajo de Electricistas?

El precio medio es de
\$ 207.744

↓ desde
\$ 40.000
Es el precio **más barato** de electricistas

↑ hasta
\$ 850.000
Precio máximo que nos han indicado los profesionales para los trabajos de electricistas



8. Codo de PVC

Hidroshop Chile



Hidroshop Chile



Codo PVC 90° | Conector para Tuberías Sanitarias 250MM

Historial de precios

Hidroshop Chile **CLP 69,290**
Codo PVC 90° | Conector para Tuberías Sanitarias 250MM
En stock para compras en línea
Entrega gratuita · Devoluciones por 30 días

SII (Servicio de impuestos internos)

Nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado

Nueva Tabla de Vida Útil fijada por el Servicio de Impuestos Internos para bienes físicos del activo inmovilizado, según Resolución N°43, de 26-12-2002, con vigencia a partir del 01-01-2003

NÓMINA DE BIENES SEGUN ACTIVIDADES	NUEVA VIDA ÚTIL NORMAL	DEPRECIACIÓN ACELERADA
A.- ACTIVOS GENÉRICOS		
1) Construcciones con estructuras de acero, cubierta y entrepisos de perfiles acero o losas hormigón armado.	80	28
2) Edificios, casas y otras construcciones, con muros de ladrillos o de hormigón, con cadenas, pilares y vigas hormigón armado, con o sin losas.	50	18
3) Edificios fábricas de material sólido albañilería de ladrillo, de concreto armado y estructura metálica.	40	13
4) Construcciones de adobe o madera en general.	30	10
5) Galpones de madera o estructura metálica.	20	6
6) Otras construcciones definitivas (ejemplos: caminos, puentes, túneles, vías férreas, etc.).	20	6
7) Construcciones provisionales.	10	3
8) Instalaciones en general (ejemplos: eléctricas, de oficina, etc.).	10	3
9) Camiones de uso general.	7	2
10) Camionetas y jeeps.	7	2
11) Automóviles	7	2
12) Microbuses, taxibuses, furgones y similares.	7	2
13) Motos en general.	7	2
14) Remolques, semiremolques y carros de arrastre.	7	2
15) Maquinarias y equipos en general.	15	5
16) Balanzas, hornos microondas, refrigeradores, conservadoras, vitrinas refrigeradas y cocinas.	9	3
17) Equipos de aire y cámaras de refrigeración.	10	3
18) Herramientas pesadas.	8	2
19) Herramientas livianas.	3	1
20) Letreros camineros y luminosos.	10	3
21) Útiles de oficina (ejemplos: máquina de escribir, fotocopiadora, etc.).	3	1
22) Muebles y enseres.	7	2
23) Sistemas computacionales, computadores, periféricos, y similares (ejemplos: cajeros automáticos, cajas registradoras, etc.).	6	2

24) Estanques	10	3
25) Equipos médicos en general.	8	2
26) Equipos de vigilancia y detección y control de incendios, alarmas.	7	2
27) Envases en general.	6	2
28) Equipo de audio y vídeo.	6	2
29) Material de audio y vídeo.	5	1
B.- INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN		
1) Maquinaria destinada a la construcción pesada (Ejemplos: motoniveladoras, traccavators, bulldozers, tractores, caterpillars, dragas, excavadoras, pavimentadoras, chancadoras, betoneras, vibradoras, ledes, torres elevadoras, tolvas, mecanismo de volteo, motores eléctricos, estanques, rodillos, molinos pavimento, etc.).	8	2
2) Bombas, perforadoras, carros remolques, motores a gasolina, grupos electrógenos, soldadoras.	6	2
C.- INDUSTRIA EXTRACTIVA (MINERÍA)		
1) Maquinarias y equipos en general destinados a trabajos pesados en minas y plantas beneficiadoras de minerales.	9	3
2) Instalaciones en minas y plantas beneficiadoras de minerales.	5	1
3) Tranques de relaves.	10	3
4) Túnel – mina.	20	6
D. - EMPRESAS DE TRANSPORTE		
TRANSPORTE MARÍTIMO		
1) Naves y barcos de carga en general, frigoríficos o graneleros con casco de acero.	18	6
2) Naves con casco de acero.	36	12
3) Naves con casco de madera.	23	7
4) Remolcadores y barcasas con casco de acero.	20	6
5) Remolcadores y barcasas con casco de madera.	15	5
6) Embarcaciones menores en general con casco de acero o madera.	10	3
7) Porta contenedores, incluidos los buques Roll-On Roll.	16	5
8) Boyas, anclas, cadenas, etc.	10	3
9) Muelles de estructura metálica.	20	6
10) Terminales e instalaciones marítimas.	10	3
TRANSPORTE TERRESTRE		

1) Tolvas, mecanismo de volteo.	9	3
2) Camos portac contenedores en general.	7	2
E- SECTOR ENERGÉTICO		
E.1) EMPRESAS ELÉCTRICAS		
1) Equipos de generación y eléctricos utilizados en la generación.	10	3
2) Obras civiles hidráulicas y otros relacionados con la generación.		
- Bocatomas, muros de presa.	50	16
- Descargas	30	10
- Túneles, piques, preñes, evacuaciones, cámaras de carga, tuberías de presión.	20	6
- Canales	18	6
- Sifones, captaciones, estanques y chimeneas de equilibrio.	10	3
- Desarenador	8	2
3) Líneas de distribución de alta tensión y baja tensión, líneas de transmisión, cables de transmisión, cables de poder.	20	6
4) Líneas de alta tensión – Transporte.		
- Obras civiles.	20	6
- Conductores	20	6
- Apoyos de suspensión y apoyos de amarres.	10	3
5) Cables de alta tensión – Transporte.		
- Obras civiles.	20	6
- Conductores	20	6
6) Subestaciones – Transporte.		
- Obras civiles.	25	8
- Construcciones y casetas de entronque (estaciones de bombeo, reactancias compensación).	20	6
- Transformadores, celdas de transformadores, celdas de líneas, equipos auxiliares y equipos de telecomandos.	10	3
7) Líneas de alta tensión – Distribución.		
- Obras civiles.	20	6
- Conductores	20	6
- Apoyos de suspensión, apoyos de amarres y remodelación de líneas.	10	3
8) Cables de alta tensión – Distribución.		

- Obras civiles.	20	6
- Conducciones	20	6
9) Líneas de media tensión – Aéreas.		
- Redes desnudas, redes aisladas, postes y otros.	20	6
- Equipos	12	4
10) Líneas de media tensión – Subterráneas.		
- Redes, cámaras, canalizaciones y otros.	20	6
- Equipos	12	4
11) Líneas de baja tensión – Aéreas.		
- Redes desnudas, redes aisladas, postes y otros.	20	6
- Equipos	12	4
12) Líneas de baja tensión – Subterráneas.		
- Redes, cámaras, canalizaciones y otros.	20	6
- Equipos.	12	4
13) Subestaciones de distribución.		
- Obras civiles y construcciones.	20	6
- Transformadores, celdas de transformadores, celdas de líneas, equipos auxiliares y equipos de telecomandos.	10	3
14) Subestaciones MT/MT.		
- Obras civiles y construcciones.	20	6
- Transformadores, celdas de transformadores, equipos auxiliares y equipos de telecomandos.	10	3
15) Subestaciones anexas MT/MT.		
- Obras civiles y construcciones	20	6
- Transformadores, celdas de transformadores, equipos auxiliares y equipos de telecomandos.	10	3
16) Centros de transformación MT/BT.		
- Obras civiles.	20	6
- Transformadores aéreos, subterráneos y de superficie.	10	3
- Otros equipos eléctricos aéreos, subterráneos y comunes.	12	4
17) Contadores y aparatos de medida – Central de operaciones y servicio de clientes.	10	3
18) Otras instalaciones técnicas para energía eléctrica		
- Obras civiles.	20	6
- Equipos	10	3

19) Alumbrado público.	10	3
E.2) EMPRESAS SECTOR PETRÓLEO Y GAS NATURAL		
1) Buques tanques (petroleros, gaseros), naves y barcos cisternas para transporte de combustible líquido.	15	5
2) Oleoductos y gasoductos terrestres, cañerías y líneas troncales.	18	6
3) Planta de tratamiento de hidrocarburos.	10	3
4) Oleoductos y gasoductos marinos.	10	3
5) Equipos e instrumental de explotación.	10	3
6) Plataforma de producción en el mar fija.	10	3
7) Equipos de perforación marinos.	10	3
8) Baterías de recepción en tierra (estanques, bombas, sistema de cañerías con sus válvulas, calentadores, instrumentos de control, elementos de seguridad contra incendio y prevención de riesgos, etc.).	10	3
9) Instalaciones de almacenamiento tales como "tank farms".	15	5
10) Plataformas de perforación y de producción de costa afuera.	22	7
F.- EMPRESAS DE TELECOMUNICACIONES		
1) Equipos conmutación local en oficinas centrales.		
- Equipos O.C. automáticos.	10	3
- Equipos O.C. auto (combinados).	10	3
- Equipos O.C. batería central.	10	3
- Equipos O.C. magneto.	10	3
- Equipos de fuerza.	10	3
- Equipos de tasación.	10	3
- Equipos de radio.	12	4
- Equipos canalizadores y repetidores en O.C.	10	3
2) Equipos conmutación L.D. en oficinas centrales.		
- Posiciones de larga distancia.	10	3
- Equipos de radio.	12	4
- Equipos canalizadores y repetidores en O.C.	10	3

3) Otros equipos de O.C.		
- Teléfonos, calculógrafos y sillas de operadoras.	10	3
4) Equipos seguridad industrial en oficinas centrales.		
- Equipos industriales de climatización.	10	3
5) Equipos para suscriptores.		
- Teléfonos automáticos.	10	3
- Teléfonos batería central.	10	3
- Teléfonos magneto.	10	3
- Equipos especiales.	10	3
- Alambre bajantes.	10	3
- Alambre interior.	10	3
- PABX automáticos.	10	3
- PBX automáticos.	10	3
- PBX batería central.	10	3
- PBX magneto.	10	3
- Locutorios.	10	3
- Equipos fax.	10	3
6) Equipos planta externa local.		
-- Postes y cruzetas de madera.	20	6
-- Postes y cruzetas de fierro.	20	6
- Postes de concreto.	20	6
- Antenas y líneas de transmisión.	12	4
- Cables aéreos y bobinas de carga.	20	6
- Cables subterráneos y bobinas de carga.	20	6
- Cables interiores.	20	6
- Cables aéreos desnudos.	20	6
- Equipos canalizadores y repetidores en postes.	12	4
- Conductos y cámaras.	20	6
- Cables entacos.	20	6
- Blocks, regletas, cassettes de protección.	20	6
- Sala de cables y MDF.	20	6

- Armarios de distribución.	20	6
- Cajas terminales, doble conexión.	20	6
- Empalmes de cables aéreos y subterráneo.	20	6
- Sistema gráfico de manejo de redes.	20	6
- Cables de fibra óptica.	20	6
- Cámaras y ductos.	20	6
7) Equipos planta externa L.D.		
- Postes y cruces de madera.	20	6
- Postes y cruces de fierro.	20	6
- Postes de concreto.	20	6
- Antenas y líneas de transmisión.	12	4
- Cables aéreos y bobinas de carga.	20	6
- Cables subterráneos y bobinas de carga.	20	6
- Alambres aéreos desanudados.	20	6
- Equipos canalizadores y repetidores en postes.	12	4
- Conductos y cámaras.	20	6
- Equipos de control automático.	10	3
- Estaciones satelitales terrenas.	12	4
- Cables de fibra óptica.	20	6
- Equipos de fibra óptica.	12	4
- Segmento espacial.	10	3
G.- ACTIVIDAD DE LA AGRICULTURA		
1) Tractores, segadoras, cultivadoras, fumigadoras, motos bombas, pulverizadoras.	8	2
2) Cosechadoras, arados, esparcadoras de abono y de cal, máquinas de ordeñar.	11	3
3) Esquiladoras mecánicas y maquinarias no comprendidas en el número anterior.	11	3
4) Vehículos de carga, motorizados, como ser: camiones trailers, camiones fudres y acoplados, colosos de tiro animal.	10	3
5) Carretas, carretones, carretelas, etc.	15	5
6) Camiones de carga y camionetas de uso intensivo en la actividad agrícola.	6	2
7) Tuberías para agua potable instaladas en predios agrícolas.	18	6

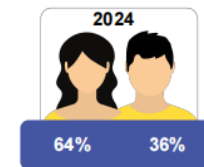
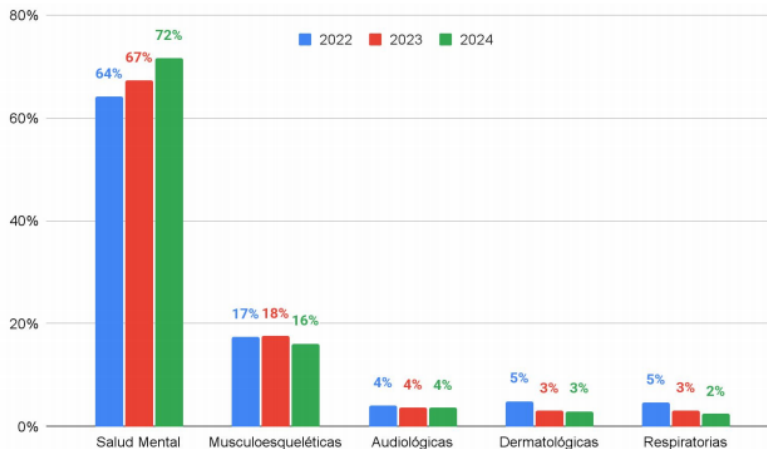
8) Construcciones de material sólido, como ser: silos, casas patronales y de inquilinos, lagares, etc.	50	16
9) Construcciones de adobe y madera, estructuras metálicas.	20	6
10) Arímales de trabajo.	8	2
11) Toros, carneros, cabríos, verracos, potros y otros reproductores.	5	1
12) Gallos y pavos reproductores.	3	1
13) Nogales, paltos, ciruelos, manzanos, almendros.	18	6
14) Viñedos según variedad.	11 a 23	3 a 7
15) Limoneros	12	4
16) Duraznos	10	3
17) Otras plantaciones frutales no comprendidas en los números 13), 14), 15) y 16) anteriores.	13	4
18) Olivos	40	13
19) Naranjos	30	10
20) Perales	25	8
21) Orégano	9	3
22) Alfalfa	4	1
23) Animales de lechería (vacas).	7	2
24) Gallinas	3	1
25) Ovejas	5	1
26) Yeguas	12	4
27) Porcinos de reproducción (hembras).	6	2
28) Conejos machos y hembras.	3	1
29) Caprinos	5	1
30) Asnales	5	1
31) Postes y alambradas para viñas.	10	3
32) Tranques y obras de captación de aguas:		
a) Tranque propiamente tal. Por ser de duración indefinida no es depreciable.	-	-
b) Instalaciones anexas al tranque. Bombas extractoras de agua, estanques e instalaciones similares en general.	10	3
33) Canales de riego:		
a) Sin aplicación de concreto o de otro material de construcción, su duración es indefinida, por lo tanto no es depreciable.	-	-
b) Con aplicación de concreto o de otro material de construcción, se trata de obras generalmente anexas, o simplemente tramos del canal mismo y su duración según el caso será:		
De concreto	70	23

De fierro pesado	45	15
De madera	25	8
34) Pozos de riego y de bebida. Se aplica la depreciación únicamente sobre los refuerzos, instalaciones y maquinarias destinadas al mayor aprovechamiento del pozo en la siguiente forma:		
a) Cemento u hormigón armado.	20	6
b) Ladrillo	15	5
c) Bomba elevadora de agua.	20	6
35) Puentes. Según el material empleado en la construcción:		
a) De cemento.	75	25
b) Metálico	45	15
c) Madera	30	10
H.- OTRAS		
1) Eseres, artículos de porcelana, loza, vidrio, cuchillería, mantelería, ropa de cama y similares, utilizados en hoteles, motales y restaurantes.	3	1
2) Redes utilizadas en la pesca.	3	1
3) Sistemas o estructuras físicas para criaderos de especies hidrobiológicas.	3	1
4) Pupitres, sillas, bancos, escritorios, pizamonas, laboratorios de química, gabinetes de física, equipos de gimnasia y atletismo, utilizados en establecimientos educacionales.	5	1
5) Aviones monomotores con cabida hasta seis personas.	10	3

SUSESO (Informe anual de seguridad y salud en el trabajo 2024)

ENFERMEDADES PROFESIONALES

Distribución de enfermedades profesionales según diagnóstico en mutualidades (Sin COVID-19) 2022-2024



N 2024 = 9.118

Nota: i) Los valores no suman 100, ya que se excluyó del gráfico "Otras Patologías" que representa en promedio el 3% de los diagnósticos y ii) Enfermedades Profesionales (EP): Corresponden a los casos que generan días con derecho a pago de subsidios y/o incapacidad permanente, y el número se determinan según la fecha de la Resolución de calificación - RECA.

Fuente: Observatorio SST-SUSESO actualizado al 14/03/2025