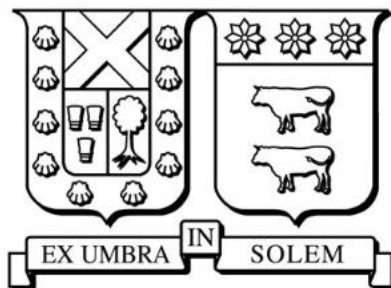


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSE MIGUEL CARRERA



Propuesta de Gestión de Riesgos Laborales y Ambientales asociados al Sevoflurano en
Pabellones Quirúrgicos del Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez

JOCELYN PAOLA GÁRATE VALENCIA
MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES Y AMBIENTALES
PROFESOR GUÍA - SEBASTIÁN AMARO

2026



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: Propuesta de Gestión de Riesgos Laborales y Ambientados asociados al Sevoflurano en Pabellones Quirúrgicos del Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez

Nombre del candidato(a): Incelyn Paola Gárate Valencia

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

Campus: Viña del Mar Departamento: Construcción y Prevención de Riesgos

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Sebastián Erick Amaro Belmar, 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: 28-08-26

Firma:



Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28-08-2026

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.

A mi papá,

Aunque físicamente ya no estés conmigo, tu amor, enseñanzas y recuerdos han sido mi fuerza durante todo este camino. Cada logro alcanzado lleva una parte de ti, porque fuiste una guía importante en mi vida y la persona que me enseñó a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

Esta tesis representa años de esfuerzo, sacrificio y perseverancia, y en cada página también está presente tu recuerdo. Me habría gustado que estuvieras aquí para ver este momento, pero sé que, de alguna manera, me acompañaste durante todo este proceso.

Gracias por todo lo que me entregaste, por tu amor incondicional y por las huellas que dejaste en mi corazón.

Este logro también es para ti.

Resumen

El presente trabajo tiene como propósito desarrollar una propuesta de mejora para el control de los riesgos laborales asociados a la exposición ocupacional al agente anestésico inhalatorio sevoflurano en los pabellones quirúrgicos del Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez de Valparaíso.

La propuesta surge a partir de la evaluación de las condiciones actuales de ventilación del área quirúrgica y de los resultados obtenidos en las mediciones ambientales realizadas por el Instituto de Seguridad del Trabajo (IST), las cuales evidenciaron la presencia de gases anestésicos residuales en el ambiente laboral y la necesidad de fortalecer las medidas de control existentes.

El trabajo aborda las características del sevoflurano como agente químico utilizado en anestesia general, sus potenciales efectos sobre la salud de los trabajadores expuestos y los requisitos normativos aplicables en materia de higiene ocupacional, ventilación hospitalaria y prevención de riesgos laborales. Asimismo, considera la revisión de antecedentes técnicos relacionados con los sistemas de ventilación utilizados en recintos hospitalarios y las estrategias de control de contaminantes en áreas críticas.

Como resultado, se desarrolla una propuesta de ventilación mecánica con presión positiva para los pabellones quirúrgicos, orientada a mejorar la renovación del aire, favorecer la dilución de gases anestésicos residuales y contribuir a la protección de la salud del personal expuesto. La propuesta incorpora criterios de ingeniería, medidas administrativas y recomendaciones preventivas alineadas con la normativa nacional vigente y las buenas prácticas internacionales aplicables al control de contaminantes químicos en ambientes hospitalarios.

Se concluye que el fortalecimiento de las condiciones de ventilación constituye una medida fundamental para reducir la exposición ocupacional al sevoflurano, mejorar las condiciones ambientales de trabajo y contribuir al desarrollo de entornos quirúrgicos más seguros para trabajadores y pacientes.

Como resultado del desarrollo técnico y económico de la propuesta, se estimó un costo total de referencia de \$6.663.114 por pabellón quirúrgico, considerando los principales equipos, materiales, instalación y un porcentaje destinado a contingencias, transporte y ajustes asociados a la implementación.

Contenido

Resumen.....	4
Introducción.....	9
Justificación del trabajo	10
Objetivo general	11
Objetivos específicos	11
Alcance.....	11
Capítulo I: Descripción del establecimiento y condiciones actuales	13
1.1. Antecedentes generales del hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez.....	13
1.2. Descripción general del hospital	14
1.3. Área de pabellón quirúrgico.....	14
1.4. Planos del área de pabellón.....	15
1.5. Proceso quirúrgico y dinámica laboral	16
1.6. Agente anestésico sevoflurano	17
1.6.1. Propiedades fisicoquímicas.....	17
1.6.2. Clasificación como agente químico peligroso	18
1.6.3. Descripción del proceso anestésico y funcionamiento del sevoflurano ...	18
1.6.4. Funcionamiento del sevoflurano en la máquina de anestesia	21
1.7. Situación actual del sistema de ventilación.....	22
1.8. Condiciones actuales de exposición	23
1.9. Consideraciones.....	25
1.10. Cierre capítulo I.....	26
Capítulo II: Marco normativo y evaluación de riesgo	27
2.1. Marco normativo aplicable	27
2.1.1. Normativa del Ministerio de Salud.....	29
2.1.2. Referencias internacionales.....	31
2.1.3. Rol de los organismos administradores de la Ley 16.744	33
2.2. Mediciones existentes realizadas por IST.	35
2.3. Representación gráfica de los resultados	38
2.3.1. Interpretación de los resultados.....	40
2.4. Evaluación del riesgo higiénico	41
2.5. Medidas de control existentes y recomendaciones de IST.....	42
2.5.1. Medidas ingenieriles.....	43
2.5.2. Medidas administrativas	44

2.5.3. Vigilancia de la salud.....	45
2.5.4. Evaluación de las medidas de control existentes.	45
2.6. Cierre capítulo II.....	47
Capítulo III: Propuesta de sistema de ventilación para pabellones quirúrgicos.	48
3.1. Descripción teórica de sistemas de ventilación.....	48
3.1.1. Ventilación natural.....	48
3.1.2. Ventilación mecánica.	48
3.1.3. Sistemas de presión positiva.	48
3.1.4. Sistemas de presión negativa.	48
3.1.5. Sistemas de filtración HEPA.	49
3.2. Filosofía de funcionamiento seleccionada.	49
3.3. Sistema de ventilación propuesto.	50
3.3.1. Condiciones de operación para el diseño.....	51
3.3.2. Determinación del caudal de ventilación.....	52
3.3.3. Dimensionamiento del ducto de impulsión.....	54
3.3.4. Pérdidas de carga del sistema.....	55
3.3.5. Pérdidas en los accesorios.....	57
3.3.6. Pérdidas en el filtro.....	58
3.3.7. Presión total requerida.	58
3.3.8. Selección del ventilador.	58
3.4. Funcionamiento del sistema propuesto.....	60
3.4.1. Unidad de tratamiento de aire.	61
3.4.2. Sistema de filtración.	61
3.4.3. Difusores de impulsión.	61
3.4.4. Sistemas de control de presión.	62
3.5. Beneficios esperados del sistema propuesto.	63
3.6. Consideraciones técnicas y operacionales.	64
3.7. Modelo del sistema de ventilación propuesto.	64
3.8. Estimación de costos de implementación.	65
3.8.1. Equipos principales.....	66
3.8.2. Materiales de instalación	67
3.8.3. Mano de obra especializada.	68
3.8.4. Resumen económico.....	68
3.8.5. Análisis económico.....	69

3.8.6. Consideraciones del presupuesto.....	69
3.9. Cierre capítulo III.	71
Conclusiones.....	73
Recomendaciones.	75
Referencias.	78
Anexos.....	80
Anexo A. Informe de evaluación cuantitativa de gases anestésicos del Instituto de Seguridad del Trabajo (IST)	80
Anexo B. Planos del pabellón quirúrgico del Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez.	81
Anexo C. Ficha técnica del ventilador.....	82
Anexo D. Ficha técnica del filtro HEPA H13.	84
Anexo E. Presupuesto referencial de implementación del sistema de ventilación.	85

Introducción

El manejo seguro de agentes anestésicos inhalatorios, como el sevoflurano, constituye un aspecto crítico para la protección de la salud de los trabajadores del área quirúrgica y para la prevención de impactos ambientales asociados a su emisión. Estos compuestos, pueden generar riesgos ocupacionales relevantes, debido a su capacidad de acumularse en el aire de los pabellones cuando no existen sistemas de ventilación adecuados, lo que puede provocar síntomas neurológicos, alteraciones cardiovasculares y efectos crónicos aún en estudio. En Chile, la identificación, evaluación y control de estos riesgos se enmarca en los requerimientos del DS 594/1999 del MINSAL, que establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Además, de guías técnicas como las elaboradas por el Instituto de Salud Pública (ISP) y organismos internacionales como NIOSH y OSHA, que han desarrollado criterios de exposición y recomendaciones para la manipulación segura de anestésicos residuales.

La importancia de este tema se incrementa cuando se consideran las brechas estructurales y operacionales presentes en establecimientos asistenciales. Donde, la combinación de infraestructura antigua, ventilación insuficiente y ausencia de protocolos estandarizados puede aumentar significadamente la exposición del personal. En el Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez, estas deficiencias justifican la necesidad de proponer un manejo seguro del sevoflurano que integre criterios técnicos, normativos y preventivos, con el propósito de mejorar la calidad del servicio entregado. Esta propuesta no solo contribuye al resguardo de los trabajadores, sino que también se alinea con la mejora continua del sistema de gestión institucional y con el cumplimiento de exigencias regulatorias vigentes en el país.

Justificación del trabajo

El Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez de Valparaíso, institución histórica del sistema público de salud, enfrenta actualmente desafíos asociados a su infraestructura antigua, particularmente en materia de ventilación y control ambiental en pabellones quirúrgicos. Estas deficiencias estructurales incrementan la exposición del personal de salud a agentes anestésicos inhalatorios, como el sevoflurano, generando riesgos tanto laborales como ambientales.

Si bien el sevoflurano, es un agente anestésico ampliamente utilizado y considerado seguro en condiciones clínicas controladas, debido a su rápida inducción y recuperación de los pacientes, su uso continuo en pabellones quirúrgicos puede generar exposición ambiental para el personal de salud.

Esta situación adquiere relevancia desde el punto de vista de la salud ocupacional, ya que, la exposición crónica a bajas concentraciones de gases anestésicos residuales puede producir efectos adversos, especialmente en contextos donde existen deficiencias en los sistemas de ventilación o en el control de dichos gases.

La evaluación de riesgos realizada por el IST confirmó la existencia de niveles de exposición por encima de lo recomendado, evidenciando la necesidad de establecer un sistema de gestión preventiva y control ambiental que garantice condiciones seguras de trabajo.

El trabajo es relevante porque:

- Aborda un riesgo laboral y ambiental crítico en hospitales con infraestructura antigua, contribuyendo a visibilizar una problemática recurrente en el sistema público.
- Promueve el cumplimiento normativo en materia de higiene y seguridad ocupacional, conforme al DS N°594/1999, DS N°148/2003 y estándares internacionales.
- Aporta herramientas prácticas y técnicas para el control de contaminantes químicos, fortaleciendo la cultura preventiva y la sostenibilidad institucional.
- La implementación de esta propuesta permitirá mejorar las condiciones ambientales del hospital, proteger la salud del personal expuesto y reducir el

impacto ambiental del sevoflurano, sirviendo además como modelo replicable para otros centros asistenciales del país.

Objetivo general

Diseñar una propuesta de manejo seguro del sevoflurano en el pabellón quirúrgico del hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez, considerando las deficiencias en infraestructura y ventilación, con el fin de reducir los riesgos laborales y ambientales asociados.

Objetivos específicos

1. Identificar los peligros laborales y ambientales derivados de la exposición a sevoflurano en el personal del pabellón quirúrgico.
2. Evaluar las condiciones actuales de ventilación y extracción de gases anestésicos en el pabellón.
3. Realizar recomendaciones para el manejo de sevoflurano en las instalaciones del hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez.

Alcance

El presente trabajo abarca el análisis, diagnóstico y propuesta de manejo seguro del anestésico inhalatorio sevoflurano en los pabellones quirúrgicos del hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez, en la ciudad de Valparaíso.

El estudio considera:

- Las condiciones de almacenamiento, manipulación, ventilación y eliminación del sevoflurano durante su ciclo de uso.
- La evaluación de riesgos laborales y ambientales en el personal de salud.
- La verificación del cumplimiento normativo del DS N°594/1999, DS N°148/2003 y DS N°78/2009.
- El diseño de una propuesta técnica y administrativa para reducir la exposición ocupacional y ambiental.

- No se incluye la evaluación médica individual de los trabajadores ni la implementación práctica del sistema, sino el diseño y fundamentación técnica del plan de manejo seguro basado en evidencia documental y normativa.

Capítulo I: Descripción del establecimiento y condiciones actuales

1.1. Antecedentes generales del hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez

El hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez, ubicado en la ciudad de Valparaíso, fue inaugurado en 1940 como “Sanatorio Valparaíso”, originalmente destinado a la atención de los pacientes con tuberculosis. Su construcción respondió a los estándares sanitarios de la época, priorizando la ubicación en altura, el aislamiento y la ventilación natural. Con el avance de la medicina y la disminución de las enfermedades infecciosas respiratorias, el establecimiento evolucionó hacia un hospital quirúrgico y médico general, especializado principalmente en la atención de adultos. La fachada norte del establecimiento se presenta en la Figura 1.1.

A lo largo de su historia, el hospital ha destacado por procedimientos pioneros en la cirugía torácica y cardiovascular en Chile, consolidándose como un centro de referencia regional. Sin embargo, su infraestructura – con más de ocho décadas de antigüedad – presenta limitaciones técnicas significativas para cumplir con los estándares actuales en materia de ventilación, seguridad hospitalaria y control ambiental en pabellones quirúrgicos.

Los pabellones del hospital atienden anualmente miles de procedimientos quirúrgicos, empleando anestésicos inhalatorios como el sevoflurano. La antigüedad del edificio y la falta de modernización de sistemas críticos, como ventilación y extracción de gases, constituyen un factor determinante para el riesgo laboral y ambiental evaluado en el presente estudio.



Figura 1.1. Fachada Norte del Hospital Eduardo Pereira
Fuente: Escuela de Arquitectura y Diseño

1.2. Descripción general del hospital

El hospital corresponde a un centro de atención de alta complejidad, en el cual se desarrollan diversas especialidades médicas y quirúrgicas. Entre sus principales servicios se incluyen cirugía general, cirugía vascular, digestiva, entre otras.

Debido a su nivel de alta complejidad, el establecimiento cuenta con áreas críticas, como unidades de paciente crítico, pabellones quirúrgicos y servicios de apoyo diagnóstico, donde se requiere un control riguroso de las condiciones ambientales para garantizar la seguridad del paciente y trabajadores.

1.3. Área de pabellón quirúrgico

El área de pabellón quirúrgico corresponde a una unidad crítica dentro del hospital, destinada a la realización de procedimientos quirúrgicos tanto mayores como menores.

El establecimiento cuenta con 6 pabellones operativos que funcionan de Lunes a Viernes en jornada diurna continua, entre las 08:00 y las 18:00 horas (10 horas diarias).

Durante este periodo se desarrollarán entre 11 y 15 procedimientos quirúrgicos, distribuidos en los seis pabellones, lo que evidencia un alto nivel de actividad y uso continuo de estas instalaciones.

Tabla 1.1. Distribución anual de cirugías por especialidad.

Especialidad	Número de cirugías
Cirugía General	522
Cirugía Plástica	421
Vascular Periférico	413
Otros	226
Digestivo Bajo	120
Digestivo Alto	84
Cabeza y Cuello	75
Tórax	40

RV	8
Menor	5
Anestesia	1
Total anual	1.915

Fuente: elaboración propia.

1.4. Planos del área de pabellón

El plano general del pabellón quirúrgico utilizado como base para el desarrollo de la propuesta se presenta en el *Anexo B*.

En la siguiente figura se presenta la distribución del área de pabellones quirúrgicos del establecimiento.

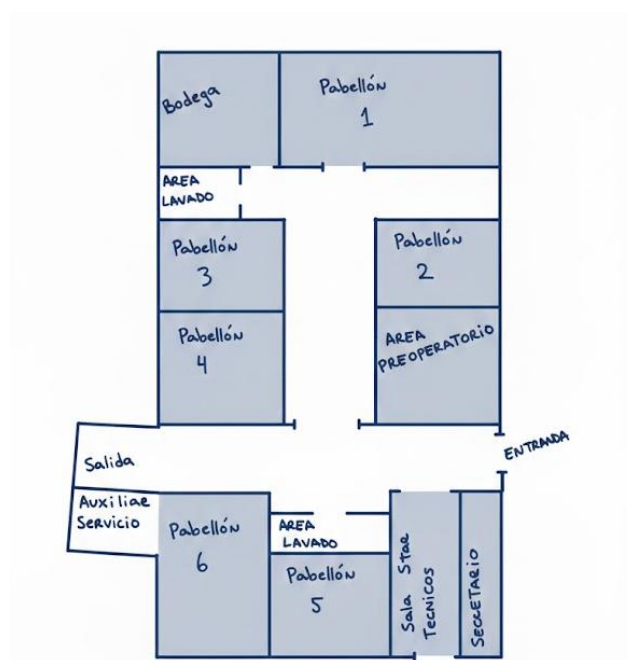


Figura 1.2. Plano esquemático del área de pabellones quirúrgicos de hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez.

Fuente: elaboración propia.

La disposición de los pabellones permite la circulación del personal y pacientes a través de pasillos internos, concretando las distintas áreas de apoyo y recuperación.

1.5. Proceso quirúrgico y dinámica laboral

El funcionamiento del pabellón quirúrgico se organiza en base a procedimientos programados y de urgencia, los cuales se desarrollan de manera continua durante la jornada laboral comprendida entre las 08:00 y las 18:00 horas.

En cada intervención participan distintos profesionales de la salud, entre ellos médicos cirujanos, anestesiólogos, enfermeras y técnicos en enfermería. Cada uno cumple un rol específico dentro del procedimiento quirúrgico.

El medico anestesiólogo es responsable de la administración de agentes anestésicos inhalatorios, como el sevoflurano, utilizando equipos especializados. Este proceso se realiza desde el inicio de la cirugía y se mantiene durante todo el proceso.

Desde el punto de vista de la exposición ocupacional, el personal presente en pabellón se encuentra potencialmente expuesto a gases anestésicos residuales, debido a su permanencia en el recinto y su cercanía con la fuente emisora.

Tabla 1.2. Dotación del personal del área de pabellones quirúrgicos.

Cargo	Cantidad
Médicos anestesistas	10
Enfermeras	7
Técnicos en enfermería (TENS)	39
Auxiliares de servicio	7
Secretarios/as	2
Total personal	65 trabajadores

Fuente: elaboración propia

1.6. Agente anestésico sevoflurano

El sevoflurano es un agente anestésico inhalatorio halogenado perteneciente al grupo de los éteres fluorados, ampliamente utilizado en procedimientos quirúrgicos para la inducción y mantenimiento de la anestesia general. Desde el punto de vista químico, corresponde a un compuesto orgánico volátil altamente fluorinado, cuya denominación sistemática es Fluorometil 2,2,2-trifluoro-1-(trifluorometil) etil eter.

1.6.1. Propiedades fisicoquímicas

De acuerdo con bases de datos químicas internacionales y fichas técnicas farmacológicas, el sevoflurano presenta las siguientes características:

- Fórmula molecular: $C_4H_3F_7O$.
- Peso molecular: 200,05 g/mol.
- Estado físico: líquido volátil, incoloro.
- Olor: leve, dulce.
- Punto de ebullición: 58,5 °C.
- Presión de vapor a 20 °C: aproximadamente 157 mmHg.
- Densidad: 1,52 g/cm³ (20 °C).
- Coeficiente de partición sangre/gas: 0,65.
- Inflamabilidad: no inflamable en condiciones normales de uso clínico.

Una de las propiedades fisicoquímicas más relevantes del sevoflurano es su baja solubilidad en sangre, lo cual se expresa mediante el coeficiente de partición sangre-gas. Este coeficiente indica la relación de distribución del anestésico entre la sangre y el aire alveolar.

En el caso del sevoflurano, este coeficiente es bajo (aproximadamente 0,65 adimensional, ya que representa una relación de distribución y no usa una cantidad absoluta), lo que significa que el anestésico no se disuelve fácilmente en la sangre y permanece en mayor proporción en fase gaseosa.

Esta característica permite que el gas alcance rápidamente concentraciones efectivas en el sistema nervioso central, facilitando una inducción anestésica rápida, así como una recuperación más ágil una vez suspendida su administración.

Desde el punto de vista clínico, esta propiedad es altamente favorable, ya que permite un mayor control de la profundidad anestésica. Sin embargo, desde la perspectiva de la salud ocupacional, su permanencia en fase gaseosa también favorece su dispersión en el ambiente del pabellón quirúrgico, lo que puede contribuir a la exposición del personal de salud en ausencia de sistemas adecuados de ventilación o extracción.

1.6.2. Clasificación como agente químico peligroso

Desde la perspectiva de la prevención de riesgos laborales, el sevoflurano se clasifica como un agente químico peligroso por inhalación, siendo esta su principal vía de ingreso al organismo en contextos ocupacionales.

Aunque se trata de un medicamento de uso clínico controlado, su liberación al ambiente durante procedimiento anestésicos puede generar exposición involuntaria del personal de salud, especialmente en ausencia de sistemas adecuados de ventilación y extracción de gases anestésicos residuales.

1.6.3. Descripción del proceso anestésico y funcionamiento del sevoflurano

El proceso anestésico corresponde a un conjunto de etapas clínicas y técnicas destinadas a inducir, mantener y revertir un estado de inconsciencia controlada en el paciente durante un procedimiento quirúrgico. Dentro de este proceso, el sevoflurano se utiliza como agente anestésico inhalatorio debido a sus propiedades farmacológicas favorables.

El sevoflurano es administrado mediante una máquina de anestesia, la cual incorpora un vaporizador específico que transforma el anestésico líquido en vapor. Este vapor se mezcla con oxígeno o aire medicinal y es conducido al paciente a través del circuito anestésico. Posteriormente, el gas exhalado retorna al sistema, donde parte puede ser evacuada y otra fracción liberarse al ambiente.

Durante el uso del sevoflurano pueden producirse fugas de vapor anestésico en distintos puntos del proceso, tales como: la carga del vaporizador, las conexiones del circuito, el uso de mascarillas mal selladas, desconexiones accidentales o la ausencia de sistemas de extracción de gases anestésicos residuales. Estas situaciones favorecen la dispersión del anestésico en el aire del pabellón quirúrgico.

En términos generales el proceso incluye:

1. Preparación del equipo de anestesia.

Revisión de conexiones, verificación y flujo de gases frescos, los cuales incluyen oxígeno, aire medicinal y, cuando corresponda, óxido nitroso, verificación de la calibración de vaporizador y realización del chequeo de seguridad.

2. Carga y manipulación del sevoflurano.

El anestesista introduce el agente en el vaporizador mediante un sistema de carga sellado. Durante esta manipulación pueden ocurrir fugas por derrames accidentales, aperturas inadecuadas o conexiones en mal estado.

3. Inducción anestésica.

Se administra la mezcla de gases anestésicos al paciente mediante máscara o vía aérea artificial. En esta etapa se generan las mayores fugas, especialmente si el sello facial no es hermético.

4. Mantenimiento anestésico.

El equipo regula la concentración de sevoflurano administrada durante toda la cirugía. Si el sistema de ventilación del pabellón es insuficiente, el vapor que se libera desde el circuito puede acumularse.

5. Emergencia anestésica y desconexión.

Al finalizar la cirugía se apaga el vaporizador. En esta fase, la apertura del circuito y el retiro de la vía aérea pueden generar liberación adicional de vapores.

El proceso descrito demuestra que el uso del sevoflurano involucra etapas donde existe riesgo elevado de liberación de vapores anestésicos, especialmente en ambientes con ventilación deficiente.



Figura 1.3. Máquina de anestesia marca Dräger modelo Fabius GS.



Figura 1.4. Máquina anestesia modelo Mindray A7.



Figura 1.5. Máquina anestesia modelo Carestation de GE HealthCare.

1.6.4. Funcionamiento del sevoflurano en la máquina de anestesia

El sistema de anestesia está compuesto por distintos elementos destinados a mezclar, dosificar y administrar gases medicinales y agentes inhalatorios. En relación con el sevoflurano, los componentes claves son:

- Vaporizador:
 - Dispositivo diseñado para transformar el sevoflurano líquido en vapor.
 - Permite regular la concentración exacta de anestésicos hacia el circuito respiratorio.
 - Puede presentar fugas por fallas de sellado, deterioro o desgaste de sus componentes.
- Sistemas de gases frescos:
 - Permite suministrar y combinar los gases utilizados durante la anestesia, principalmente oxígeno, aire medicinal y, cuando corresponda óxido nítrico, junto con el agente anestésico inhalatorio.
 - Cualquier desconexión o falla en sus componentes puede aumentar el riesgo de liberación accidental de gases anestésicos al ambiente.
- Circuito respiratorio:
 - Transporta los gases desde el sistema de anestesia hacia el paciente y permite conducir los gases exhalados de retorno al equipo.
 - Las fugas más frecuentes pueden ocurrir principalmente en las uniones de las tubuladuras, la interfaz utilizada durante la inducción, válvulas y conexiones deterioradas.

La figura 1.6 representa los principales componentes del circuito respiratorio de una máquina de anestesia, incluyendo las válvulas inspiratoria y espiratoria, el absorbente de CO₂, la bolsa de respiración y el sistema de eliminación de gases. Estos componentes participan en la circulación de los gases durante el procedimiento anestésico, por lo que correcta conexión y funcionamiento son relevantes para prevenir fugas y la liberación de gases anestésicos al ambiente de trabajo.

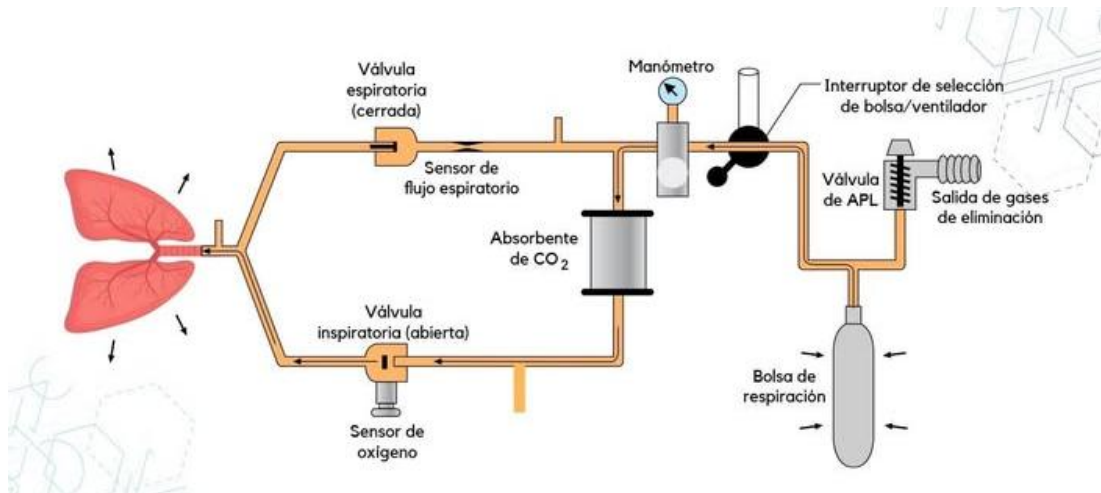


Figura 1.6. Circuito respiratorio y sistema de eliminación de gases de una máquina de anestesia.
Fuente: Cursos en línea Biomedex.

- Sistemas de evacuación o “scavenging”.
 - Su función es captar y conducir los gases anestésicos residuales hacia un sistema de eliminación, evitando su acumulación en el pabellón.
 - En los pabellones evaluados, este sistema presenta deficiencias o ausencia, situación que puede favorecer la acumulación de sevoflurano en el aire del recinto.

1.7. Situación actual del sistema de ventilación

El sistema de ventilación del área de pabellones presenta características que requieren ser evaluadas desde el punto de vista de la calidad del aire interior.

De acuerdo con la información recopilada, los difusores de impulsión de aire se encuentran ubicados en el pasillo exterior de los pabellones, mientras que en el interior de estos recintos se observan rejillas de ventilación.

Esta configuración puede dificultar la correcta distribución del aire limpio dentro del pabellón, así como la adecuada eliminación de contaminantes, incluyendo gases anestésicos residuales.

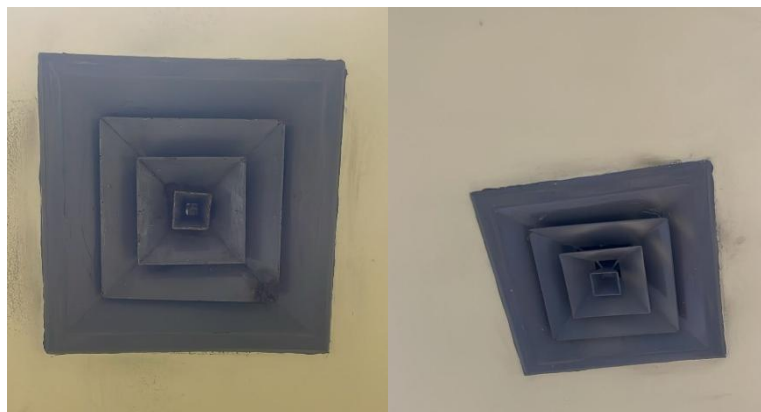


Figura 1.7. Difusores de impulsión de aire ubicado en el cielo del pabellón quirúrgico.

Fuente: Registro fotográfico propio, hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez.



Figura 1.8. Rejilla de extracción de aire instalada sobre el acceso de pabellón quirúrgico.

Fuente: Registro fotográfico propio, hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez.

Actualmente, no se observa un sistema específico de extracción localizada de gases anestésicos, lo que podría favorecer su acumulación en determinadas condiciones operacionales.

1.8. Condiciones actuales de exposición

En el contexto descrito, el personal de salud que desempeña funciones en pabellón quirúrgico se encuentra expuesto a gases anestésicos residuales. Particularmente, durante la realización de procedimientos que requieren anestesia inhalatoria.

La exposición puede verse incrementada debido a la alta carga de trabajo, la continuidad de las cirugías y las condiciones del sistema de ventilación. Lo que puede favorecer la acumulación de estos compuestos en el aire.

Esta situación hace necesario evaluar los niveles de exposición existentes, con el fin de determinar si cumplen con los criterios establecidos y proponer medidas de control adecuadas.

1.9. Consideraciones

El uso de sevoflurano en pabellones quirúrgicos requiere considerar diversos aspectos clínicos, operacionales y ambientales; relacionados con su administración y control.

Desde el punto de vista clínico, este agente anestésico presenta ventajas asociadas a su rápida inducción y recuperación, permitiendo un manejo eficiente del paciente durante el procedimiento quirúrgico. Asimismo, su administración debe realizarse mediante equipos especializados y bajo supervisión permanente del médico anestesista. Sin embargo, durante su utilización pueden generarse emisiones residuales al ambiente del pabellón, especialmente durante la inducción anestésica, conexiones y desconexiones del circuito anestésico o ante posibles fugas en los equipos de administración.

Desde la perspectiva ocupacional, la exposición continua a bajas concentraciones de gases anestésicos residuales puede presentar un riesgo para el personal de salud expuesto de manera frecuente dentro del pabellón quirúrgico.

En este contexto, las condiciones de ventilación y renovación de aire adquieren un rol fundamental en el control ambiental del recinto, debido a que la ventilación deficiente puede favorecer la acumulación de contaminantes químicos en el ambiente laboral.

Por esta razón, resulta necesario implementar medidas de control orientadas a reducir la exposición ocupacional, considerando tanto sistemas adecuados de ventilación como procedimientos seguros de trabajo durante la administración del anestésico.

1.10. Cierre capítulo I

Los antecedentes presentados permiten comprender las características generales del establecimiento, el funcionamiento del área quirúrgica, el uso del sevoflurano y las condiciones actuales de ventilación presentes en los pabellones. Asimismo, se identifican factores que podrían favorecer la exposición ocupacional a gases anestésicos residuales dentro del ambiente quirúrgico.

En base a lo anterior, en el siguiente capítulo se presentan los resultados de la exposición ocupacional, considerando tanto sistemas adecuados de ventilación como procedimientos seguros de trabajo durante la administración del anestésico.

Capítulo II: Marco normativo y evaluación de riesgo

2.1. Marco normativo aplicable

La gestión de los riesgos asociados a la exposición ocupacional a gases anestésicos en pabellones quirúrgicos se encuentra respaldada por diversas normativas y recomendaciones internacionales que establecen criterios de seguridad para la infraestructura hospitalaria, los sistemas de ventilación y los límites de exposición a contaminantes químicos en el ambiente laboral.

Estas referencias normativas permiten establecer parámetros técnicos para evaluar las condiciones de seguridad del personal expuesto a anestésicos volátiles como el sevoflurano durante los procedimientos quirúrgicos.

En Chile, la regulación de las condiciones sanitarias y ambientales en los lugares de trabajo se encuentra establecida principalmente en el Decreto Supremo N°594, del Ministerio de Salud, que establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas que deben cumplir los lugares de trabajo y fija límites permisibles de exposición ambiental a agentes químicos y físicos.

Este reglamento establece disposiciones relacionadas con la ventilación, el control de contaminantes y los límites permisibles de exposición a sustancias químicas presentes en los lugares de trabajo, aspectos directamente relacionados con la exposición ocupacional a gases anestésicos en establecimientos hospitalarios.

Dentro del Decreto Supremo N°594 destacan las siguientes disposiciones relevantes para el presente trabajo:

Artículo 32:

Establece que todo lugar de trabajo debe mantener, mediante medios naturales o artificiales, una ventilación que contribuya a proporcionar condiciones ambientales adecuadas y que no cause molestias ni perjudique la salud de los trabajadores.

Artículo 33:

Establece que, cuando existan agentes de contaminación ambiental que puedan ser perjudiciales para la salud de los trabajadores, tales como gases, vapores u otras

emanaciones nocivas, los contaminantes deben ser captados en su origen e impedir su dispersión en el lugar de trabajo. Asimismo, señala que el sistema de ventilación utilizado debe evitar que la concentración ambiental de estos contaminantes supere los límites permisibles vigentes.

Artículo 59:

Define los límites permisibles aplicables a los contaminantes químicos presentes en los lugares de trabajo. El artículo establece el Límite Permissible Ponderado (LPP), correspondiente al valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales durante una jornada normal de trabajo; el Límite Permissible Temporal (LPT), correspondiente al valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales medidas durante un período continuo de 15 minutos; y el Límite Permissible Absoluto (LPA), correspondiente al valor máximo permitido para las concentraciones ambientales medidas en cualquier momento de la jornada laboral.

Artículo 60:

Establece que el promedio ponderado de las concentraciones ambientales de los contaminantes químicos no debe superar los límites permisibles ponderados establecidos en el artículo 66. Asimismo, establece las condiciones relativas a los excesos momentáneos de los LPP y señala que, para aquellas sustancias que poseen además un LPT, dichos excesos no podrán superar este límite.

Artículo 61:

Establece los Límites Permisibles Absolutos (LPA) para aquellas sustancias capaces de causar rápidamente efectos narcóticos, cáusticos o tóxicos de carácter grave o fatal. Estos límites corresponden a concentraciones ambientales que no pueden ser excedidas en ningún momento de la jornada laboral.

Artículo 66:

Establece los Límites Permisibles Ponderados (LPP) y Temporales (LPT) para las concentraciones ambientales de las sustancias químicas indicadas en su tabla. En esta tabla se encuentra incorporado el sevoflurano (CAS 28523-86-6), para el cual se establece un Límite Permissible Temporal (LPT) de 2 ppm, equivalente a 16,36 mg/m³.

En relación con lo anterior, el sevoflurano se encuentra expresamente regulado en el artículo 66 del Decreto Supremo N°594 mediante un Límite Permisible Temporal (LPT) de 2 ppm (16,36 mg/m³). Por lo tanto, este valor constituye el referente normativo nacional para la evaluación de las concentraciones ambientales de sevoflurano en el presente trabajo.

En el caso de los pabellones quirúrgicos, estas disposiciones son relevantes tanto para la gestión de los contaminantes presentes en el ambiente laboral como para la evaluación de la exposición ocupacional a gases anestésicos residuales. En particular, los artículos 32 y 33 establecen criterios relacionados con la ventilación y el control de contaminantes, mientras que los artículos 59, 60 y 66 permiten establecer y aplicar los criterios correspondientes a los límites de exposición ocupacional. De esta manera, las concentraciones de sevoflurano obtenidas mediante las mediciones ambientales pueden ser comparadas con el LPT de 2 ppm establecido en el artículo 66 del DS N°594.

CAS	Sustancia	Límite Permisible Ponderado p.p.m. mg/m³	Límite Permisible Temporal p.p.m. mg/m³	Observaciones
75-74-1	(expresado como Pb) Polvo de Granos (Cereales) Polvos no Especificados (Total) Polvos no Especificados (Fracción Respirable)	0,13 3,5 8 2,4		(3) (4)
7782-49-2	Selenio y Comp.	0,18		
28523-86-6	Sevoflurano		2 16,36	
-----	Silice Amorfa Precipitada -	---		

Figura 2.1. Concentraciones ambientales del Sevoflurano.
Fuente: Decreto Supremo N° 594, artículo 66.

2.1.1. Normativa del Ministerio de Salud

El Ministerio de Salud de Chile establece disposiciones y orientaciones técnicas aplicables a los establecimientos de salud, particularmente en materias relacionadas con su infraestructura, condiciones de funcionamiento y diseño de las distintas unidades asistenciales. Para el presente trabajo resulta relevante la Guía de Diseño para Establecimientos Hospitalarios de Mediana Complejidad, D.302 Unidad de Pabellones Quirúrgicos, elaborada por la Subsecretaría de Redes Asistenciales del Ministerio de Salud. Este documento proporciona criterios técnicos para la planificación y diseño de las unidades de pabellones quirúrgicos.

En relación con las condiciones ambientales de los quirófanos, la guía D.302 establece que estos recintos deben mantenerse a presión positiva respecto de los espacios circundantes, con el propósito de proteger el campo quirúrgico frente a contaminaciones externas. Asimismo, señala que el aire debe ser filtrado mediante filtros absolutos HEPA con una eficiencia de 99,97 % y que los quirófanos deben contar con 15 renovaciones de aire por hora, de acuerdo con las Normas Técnicas Básicas de autorización sanitaria.

La misma guía establece que la temperatura del quirófano debe mantenerse habitualmente entre 20 °C y 23 °C, considerando que determinados procedimientos o condiciones particulares de los pacientes pueden requerir otros niveles de temperatura. Para ello, se señala la necesidad de disponer de sistemas que permitan la regulación individual de cada pabellón dentro de un rango aproximado de 18 °C a 28 °C.

Asimismo, el documento indica que los difusores de aire deben disponerse técnicamente de manera que permitan cumplir los requerimientos de flujo, evitando la generación de corrientes o turbulencias que puedan afectar el campo operatorio.

Estos criterios son relevantes para el presente trabajo, debido a que permiten establecer parámetros técnicos para evaluar las condiciones de ventilación y climatización de los pabellones quirúrgicos del Hospital Dr. Eduardo Pereira. En particular, el criterio de 15 renovaciones de aire por hora constituye un parámetro de referencia para contrastar las condiciones existentes en los pabellones evaluados, donde se ha identificado una tasa de 14 renovaciones de aire por hora.

En este contexto, las condiciones de ventilación adquieren especial importancia para la gestión de los contaminantes presentes en el ambiente quirúrgico, ya que una adecuada renovación y distribución del aire contribuye al control de las condiciones ambientales del recinto. Esto resulta especialmente relevante en procedimientos en los que se utilizan agentes anestésicos volátiles, como el sevoflurano, debido a la posibilidad de generación y acumulación de gases anestésicos residuales en el ambiente de trabajo.

2.1.2. Referencias internacionales

Recomendaciones del NIOSH

El National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) establece recomendaciones técnicas relacionadas con la exposición ocupacional a gases anestésicos residuales en establecimientos de salud.

En el documento Criterio for a Recomendad Standard: Occupational Exposure to Waste Anesthetic Gases and Vapor, este organismo recomienda que la concentración ambiental de anestésicos halogenados no supere las 2 ppm durante la administración del anestésico, cuando se utilizan sistemas adecuados de evacuación de gases.

Estas recomendaciones aplican principalmente a:

- Pabellones quirúrgicos.
- Salas de recuperación anestésica.
- Áreas donde se manipulan anestésicos inhalatorios.

El NIOSH también establece que los hospitales deben implementar medidas de control como:

- Sistemas de evacuación de gases anestésicos (scavenging systems).
- Ventilación mecánica adecuada.
- Mantenimiento periódico de equipos de anestesia.
- Monitoreo ambiental de gases anestésicos.

Estas medidas buscan reducir la exposición crónica del personal de salud, incluyendo anestesiólogos, enfermeras, técnicos en enfermería y otros trabajadores que permanecen en el área quirúrgica.

En el contexto del presente estudio, estas recomendaciones constituyen un referente técnico para evaluar la posible exposición ocupacional al sevoflurano en los pabellones del hospital analizado.

Estándares de la OSHA.

La Occupational Safety and Health Administration (OSHA) establece estándares relacionados con la seguridad y salud ocupacional en ambientes laborales, incluyendo la calidad del aire en lugares de trabajo.

Si bien OSHA no ha definido un límite de exposición permisible específico para el sevoflurano, si establece en su normativa de ventilación industrial (29 CFR 1910.94) que los empleados deben implementar sistemas de ventilación adecuados cuando existan contaminantes químicos presentes en el ambiente laboral.

Dentro de las recomendaciones para establecimientos hospitalarios se incluyen:

- Ventilación mecánica adecuada en pabellones quirúrgicos.
- Sistemas de captura o evacuación de gases anestésicos.
- Control de fugas en equipos de anestesia.
- Monitoreo ambiental en áreas con exposición a agentes químicos.

Estas medidas son fundamentales para evitar la acumulación de gases anestésicos residuales en el ambiente de trabajo, lo que podría generar exposición ocupacional del personal clínico.

Recomendaciones de la OMS.

La World Health Organization OMS establece directrices generales relacionadas con el diseño seguro de infraestructuras hospitalarias y la prevención de riesgos ocupacionales en entornos de atención sanitaria.

En sus guías de infraestructura hospitalaria y seguridad del paciente, la OMS señala que los pabellones quirúrgicos deben contar con sistemas de ventilación capaces de garantizar:

- Renovación adecuada del aire.
- Control de contaminantes químicos.
- Condiciones ambientales seguras para pacientes y trabajadores.

Estas medidas contribuyen a disminuir la concentración de contaminantes en el ambiente quirúrgico, incluidos los gases anestésicos residuales como el sevoflurano.

Norma ISO 7396-1 Sistemas de gases medicinales.

La norma ISO 7396-1 establece los requisitos para el diseño, instalación, funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de distribución de gases medicinales en establecimientos de salud.

Entre los aspectos regulados por esta norma se incluyen:

- Capítulo 4: requisitos generales de seguridad del sistema
- Capítulo 5: diseño de sistemas de tuberías de gases medicinales
- Capítulo 6: instalación y pruebas del sistema
- Capítulo 7: operación y mantenimiento

La norma establece que los sistemas de gases medicinales deben diseñarse de manera que se minimicen los riesgos asociados a fugas o fallas en el suministro, asegurando condiciones seguras tanto para pacientes como para el personal de salud.

Si bien esta norma se centra en la distribución de gases medicinales como oxígeno, aire medicinal o óxido nitroso, sus principios de seguridad también se relacionan con el manejo de anestésicos volátiles utilizados en pabellones quirúrgicos, incluyendo el sevoflurano.

2.1.3. Rol de los organismos administradores de la Ley 16.744

En Chile, la prevención de riesgos laborales también es promovida por los organismos administradores del seguro de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales establecido en la Ley N°16.744.

Instituciones como la Asociación Chilena de Seguridad, el Instituto de Seguridad del Trabajo y la Mutual de Seguridad elaboran guías técnicas y recomendaciones relacionadas con la exposición ocupacional a agentes químicos en diferentes ambientes laborales.

Estas instituciones promueven medidas de control orientadas a:

- Evaluar la exposición a contaminantes químicos.
- Mejorar los sistemas de ventilación en lugares de trabajo.
- Implementar programas de vigilancia de salud ocupacional.
- Prevenir enfermedades profesionales asociadas a exposición química.

En el caso de los establecimientos de salud, estas recomendaciones pueden aplicarse al control de la exposición ocupacional a gases anestésicos residuales en pabellones quirúrgicos.

Tabla 2.1. Marco Normativo aplicable a la exposición ocupacional a gases anestésicos.

Norma / Institución	Tipo	Aplicación al estudio
NIOSH	Recomendación internacional	Límites de exposición a gases anestésicos
OSHA	Regulación laboral	Ventilación y control de contaminantes
OMS	Organismo internacional	Infraestructura hospitalaria segura
ISO 7396-1	Norma técnica	Sistemas de gases medicinales
DS 594	Normativa chilena	Ventilación y control de contaminantes
Ley 16.744	Seguridad laboral	Prevención de enfermedades profesionales

Fuente: elaboración propia.

2.2. Mediciones existentes realizadas por IST.

Con el objetivo de evaluar las condiciones ambientales presentes en el área de pabellón quirúrgico, se consideraron las mediciones realizadas previamente por el Instituto de Seguridad del Trabajo (IST).

La evaluación contempló mediciones ambientales de gases anestésicos residuales durante procedimientos quirúrgicos desarrollados en los pabellones, considerando las condiciones normales de funcionamiento del servicio. Las evaluaciones fueron realizadas en distintos pabellones quirúrgicos durante procedimientos que involucraban el uso de sevoflurano como anestésico inhalatorio.

Para la medición de los gases anestésicos se utilizaron bombas de muestreo de bajo flujo constante marca Gillian, modelo LFS-113D, equipos utilizados en higiene ocupacional para la evaluación de contaminantes químicos presentes en el aire.

El rango de caudal utilizado durante el muestreo fue de aproximadamente 0,051 a 0,053 L/min, permitiendo la captación de las muestras de aire durante el período establecido para la evaluación.

Las muestras recolectadas fueron posteriormente analizadas en laboratorio mediante cromatografía de gases (CG), utilizando el método MTA/MA-046/A00, destinado a la identificación y cuantificación de compuestos orgánicos volátiles, entre ellos el sevoflurano.

La utilización de este procedimiento permitió determinar las concentraciones ambientales de sevoflurano presentes durante los procedimientos quirúrgicos y evaluar la exposición ocupacional de los trabajadores considerados en la medición.



Figura 2.2. Bomba de muestreo marca Gillian modelo LFS-113D.

Fuente: Informe de evaluación ambiental IST.

Resultados de las mediciones ambientales:

Los resultados de la evaluación cuantitativa realizada por el Instituto de Seguridad del Trabajo (IST) se presentan en el Anexo A. Para efectos del presente trabajo, los resultados fueron organizados considerando el pabellón evaluado, el cargo del trabajador, la concentración de sevoflurano obtenida y su comparación con el Límite Permisible Temporal (LPT) establecido para el sevoflurano en el artículo 66 del D.S. N.º 594/1999, correspondiente a 2 ppm (16,36 mg/m³).

Tabla 2.2. Resultados de mediciones ambientales según evaluación IST.

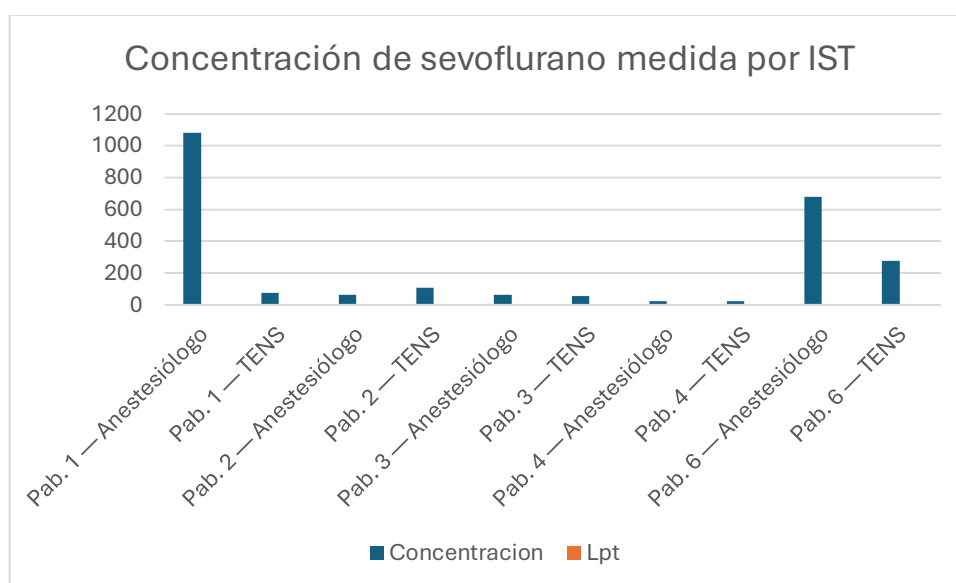
Pabellón	Cargo evaluado	Concentración medida (mg/m³)	Limite Permisible Temporal (LPT) D.S. 594/99 (mg/m³)	Cumplimiento
Pabellón 1	Médico anesthesiólogo	1083	16,36	No cumple
	Técnico en Enfermería	77		No cumple
Pabellón 2	Médico anesthesiólogo	62		No cumple
	Técnico en Enfermería	108		No cumple
Pabellón 3	Médico anesthesiólogo	62		No cumple
	Técnico en Enfermería	54		No cumple
Pabellón 4	Médico anesthesiólogo	24		No cumple
	Técnico en Enfermería	25		No cumple
Pabellón 6	Médico anesthesiólogo	679		No cumple
	Técnico en Enfermería	275		No cumple

Fuente: informe de IST, tabla N°5 resultados concentraciones respecto al LPT.

2.3. Representación gráfica de los resultados

En el siguiente gráfico se representan las concentraciones de sevoflurano obtenidas en las mediciones realizadas por el Instituto de Seguridad del Trabajo (IST), correspondientes a los médicos anestesiólogos y técnicos en enfermería de los pabellones quirúrgicos evaluados. Los valores obtenidos se presentan en mg/m^3 y se comparan con el Límite Permisible Temporal (LPT) de $16,36 \text{ mg}/\text{m}^3$ utilizado como valor de referencia. Los resultados se presentan en el Gráfico 2.1.

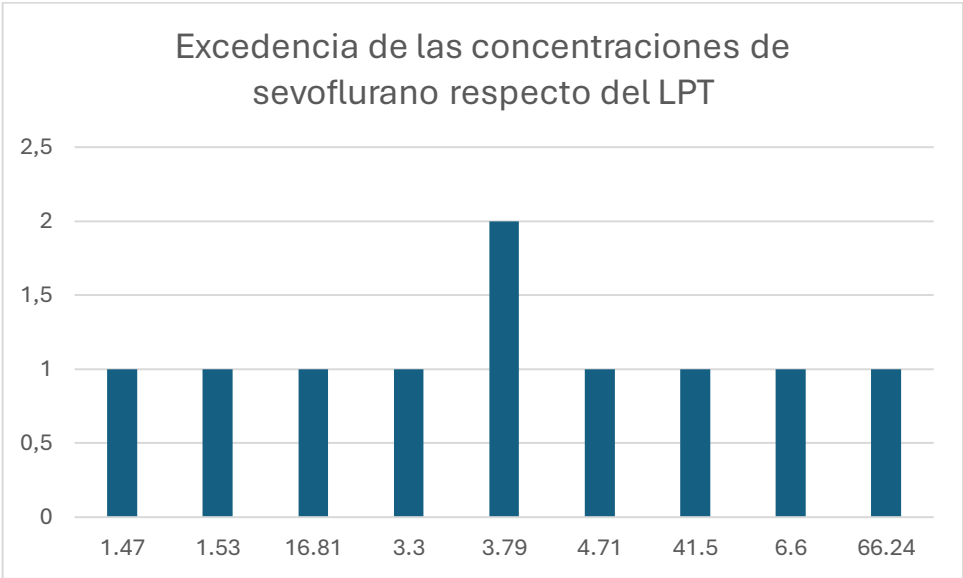
Gráfico 2.1. Representación gráfica de las concentraciones de sevoflurano



Fuente: Elaboración en base a datos del IST.

En el siguiente gráfico se representa la relación entre las concentraciones de sevoflurano medidas y el Límite Permisible Temporal (LPT) de 16,36 mg/m³, expresando los resultados como el número de veces que las concentraciones registradas superan dicho valor de referencia. Esta representación permite visualizar la magnitud de las excedencias identificadas en cada pabellón y cargo evaluado. Los resultados se presentan en el Gráfico 2.2.

Gráfico 2.2. Representación gráfica de la excedencia del Límite Permisible Temporal.



Fuente: Elaboración en base a datos del IST.

2.3.1. Interpretación de los resultados

Los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas por el Instituto de Seguridad del Trabajo (IST) evidencian que la totalidad de las concentraciones de sevoflurano registradas en los pabellones evaluados supera el Límite Permisible Temporal (LPT) de 16,36 mg/m³ utilizado como valor de referencia. Esto indica que tanto los médicos anestesiólogos como los técnicos en enfermería evaluados estuvieron expuestos a concentraciones superiores al límite establecido durante las mediciones.

La concentración más elevada se registró en el médico anestesiólogo del Pabellón 1, con 1083 mg/m³, valor que corresponde aproximadamente a 66,2 veces el LPT. Le sigue el médico anestesiólogo del Pabellón 6, con 679 mg/m³, equivalente a aproximadamente 41,5 veces el LPT. Estos resultados representan las mayores excedencias identificadas en las mediciones.

En los técnicos en enfermería, la concentración más elevada se registró en el Pabellón 6, con 275 mg/m³, equivalente a aproximadamente 16,8 veces el LPT, seguida por el Pabellón 2, con 108 mg/m³, correspondiente a aproximadamente 6,6 veces el LPT.

Por otra parte, las menores concentraciones se observaron en el Pabellón 4, tanto para el médico anestesiólogo como para el técnico en enfermería, con valores de 24 mg/m³ y 25 mg/m³, respectivamente. A pesar de ser las concentraciones más bajas del conjunto de mediciones, ambas superan el LPT, alcanzando aproximadamente 1,5 veces dicho valor.

En términos generales, los resultados muestran que existe una condición de exposición ocupacional al sevoflurano en todos los puestos evaluados, presentándose las mayores concentraciones en los Pabellones 1 y 6. La magnitud de las excedencias observadas constituye un antecedente relevante para el presente trabajo, ya que permite identificar la necesidad de fortalecer las medidas de control asociadas al uso de agentes anestésicos y, particularmente, evaluar las condiciones de ventilación y extracción de gases anestésicos residuales existentes en los pabellones quirúrgicos.

2.4. Evaluación del riesgo higiénico

La evaluación del riesgo higiénico se realizó considerando de manera conjunta los resultados de las mediciones ambientales, las características de los procedimientos quirúrgicos y las condiciones existentes en los pabellones para controlar la presencia de sevoflurano en el ambiente de trabajo. La integración de estos antecedentes permite determinar la relevancia de la exposición identificada y establecer los principales factores que contribuyen a su ocurrencia.

Los resultados presentados en los apartados anteriores evidencian que las concentraciones de sevoflurano registradas superaron el valor de referencia utilizado para la evaluación en todos los puestos de trabajo considerados. Sin embargo, la magnitud de esta superación presenta diferencias importantes entre los pabellones y cargos evaluados, destacándose particularmente los resultados obtenidos en los pabellones 1 y 6. Esta variabilidad indica que las condiciones de exposición no son homogéneas dentro del área quirúrgica y que pueden estar relacionadas con las características particulares de cada procedimiento y con las condiciones de control ambiental existentes.

Desde la perspectiva de la higiene ocupacional, la importancia de estos resultados aumenta al considerar que la exposición ocurre durante actividades quirúrgicas que se desarrollan de manera recurrente. El personal que participa directamente en los procedimientos permanece dentro del pabellón durante la administración de anestesia y el desarrollo de la intervención, por lo que la exposición puede repetirse durante distintas jornadas de trabajo. En consecuencia, la evaluación del riesgo no depende exclusivamente de la concentración registrada en una medición puntual, sino también de las condiciones en que se desarrolla la actividad y de la posibilidad de que estas situaciones se repitan durante la operación habitual del área.

En este contexto, las condiciones de ventilación adquieren especial importancia como factor de control. De acuerdo con los antecedentes recopilados, el sistema existente corresponde a un sistema de inyección y extracción radial; no obstante, presenta limitaciones asociadas a la renovación del aire y no dispone de un sistema específico para la extracción de gases anestésicos residuales. Estas condiciones pueden disminuir

la capacidad del sistema para remover oportunamente el contaminante generado durante los procedimientos quirúrgicos.

Asimismo, la exposición puede verse influenciada por factores operacionales propios del proceso, entre ellos la cantidad de procedimientos realizados, la duración de las cirugías, la utilización de agentes anestésicos y la permanencia del personal dentro del pabellón. La interacción de estos factores con las condiciones de ventilación puede favorecer la presencia del contaminante en el ambiente y contribuir a que se mantengan concentraciones superiores al valor de referencia.

Por lo anterior, los antecedentes analizados permiten establecer que el riesgo higiénico asociado al sevoflurano no se encuentra determinado únicamente por la utilización del agente anestésico, sino por la interacción entre su generación durante el procedimiento, las condiciones de ventilación existentes y el tiempo de permanencia de los trabajadores en el área. La presencia de concentraciones superiores al valor de referencia en la totalidad de los puestos evaluados constituye un antecedente que justifica la necesidad de fortalecer las medidas de control existentes, especialmente aquellas relacionadas con la ventilación y extracción de gases anestésicos residuales.

En consecuencia, la evaluación realizada permite identificar la ventilación y extracción de gases anestésicos como aspectos prioritarios de intervención, constituyendo este análisis la base para el desarrollo de las medidas de control y la propuesta técnica que será abordada en los capítulos posteriores.

2.5. Medidas de control existentes y recomendaciones de IST.

Como resultado de las evaluaciones ambientales realizadas en el área de pabellón quirúrgico, el Instituto de Seguridad del Trabajo (IST) estableció una serie de medidas orientadas a controlar la exposición ocupacional a gases anestésicos residuales. Estas medidas consideran acciones de carácter ingenieril, administrativo y de vigilancia de la salud, destinadas a disminuir la exposición del personal y mantener condiciones adecuadas de funcionamiento en el área quirúrgica.

Las medidas identificadas se relacionan principalmente con el mantenimiento de los sistemas de extracción, el seguimiento de sus condiciones operacionales, la

capacitación e información de los trabajadores y la incorporación del personal potencialmente expuesto a programas de vigilancia de salud.

2.5.1. Medidas ingenieriles

El IST estableció medidas de carácter ingenieril orientadas a mejorar las condiciones de extracción y renovación del aire en el área de pabellón quirúrgico. Entre ellas se encuentra la realización de mantenimiento periódico de los sistemas de extracción, considerando que el deterioro o funcionamiento inadecuado de estos equipos puede disminuir su capacidad para controlar los contaminantes presentes en el ambiente.

Asimismo, se recomendó mantener registros de mantenimiento y hojas de vida de los sistemas de extracción, con el propósito de facilitar el seguimiento de su funcionamiento y detectar oportunamente condiciones que puedan afectar su desempeño.

Tabla 5. Medidas ingenieriles establecidas por IST.

Medida	Objetivo
Mantenimiento sistema extracción	Mantener la capacidad de extracción y favorecer la renovación del aire
Registro y bitácora de mantenimiento	Facilitar el control y seguimiento del funcionamiento del sistema.

Fuente: Elaboración a partir de la evaluación cuantitativa de gases anestésicos, Tabla N°8.

Las medidas ingenieriles identificadas se encuentran directamente relacionadas con el control del contaminante en el ambiente de trabajo. Sin embargo, los resultados de las mediciones ambientales analizados en los apartados anteriores evidencian que las concentraciones registradas superaron el valor de referencia utilizado para la evaluación en todos los puestos considerados. Por lo tanto, el mantenimiento y seguimiento del sistema de extracción constituyen medidas necesarias, pero requieren ser complementadas con una evaluación de su capacidad real para controlar la presencia de gases anestésicos residuales.

2.5.2. Medidas administrativas

Adicionalmente, el IST estableció recomendaciones de carácter administrativo orientadas a fortalecer la gestión preventiva asociada a la exposición a gases anestésicos residuales. Estas medidas consideran la capacitación del personal de la Unidad de Anestesia y Pabellones Quirúrgicos, la información respecto de los riesgos asociados al agente evaluado y la adopción de medidas de higiene destinadas a reducir la exposición.

Entre las acciones señaladas se encuentra la realización de capacitaciones dirigidas al personal respecto del origen del agente, sus riesgos asociados y los procedimientos seguros de trabajo. Asimismo, se contempla la información formal a los trabajadores sobre los riesgos presentes en sus respectivos puestos de trabajo, de acuerdo con las obligaciones establecidas en la normativa vigente.

Estas medidas contribuyen al control administrativo del riesgo; sin embargo, debido a que actúan principalmente sobre las prácticas y conductas de los trabajadores, no sustituyen la necesidad de mantener controles de ingeniería eficaces para reducir la concentración del contaminante en el ambiente.

Tabla 6. Medidas administrativas implementadas por IST.

Medida	Objetivo
Capacitaciones	Fortalecer el conocimiento y la prevención riesgo
Información de riesgos	Informar a los trabajadores sobre los riesgos presentes en sus puestos de trabajo.
Medidas de higiene	Reducir posibles exposiciones secundarias.

Fuente: elaboración propia a partir de antecedentes del IST

2.5.3. Vigilancia de la salud

Como medida preventiva complementaria, el IST estableció el ingreso del personal potencialmente expuesto al programa de Vigilancia de Salud del Trabajador, considerando entre otros a médicos anestesiólogos, técnicos en enfermería y enfermeras.

La vigilancia de la salud constituye una medida complementaria dentro de la gestión del riesgo, ya que permite realizar un seguimiento del estado de salud de los trabajadores potencialmente expuestos y generar antecedentes que contribuyan a la evaluación preventiva. Esta medida debe considerarse complementaria a los controles de ingeniería y administrativos, y no como un mecanismo destinado a eliminar o reducir directamente la concentración de sevoflurano presente en el ambiente de trabajo.

2.5.4. Evaluación de las medidas de control existentes.

A partir de los antecedentes revisados, se observa que las medidas de control identificadas consideran los principales niveles de la jerarquía de controles, incorporando acciones de ingeniería, administrativas y de vigilancia de la salud. Sin embargo, los resultados de las mediciones ambientales evidencian que persisten concentraciones de sevoflurano superiores al valor de referencia utilizado para la evaluación.

Esta situación indica que las medidas existentes o recomendadas requieren ser revisadas respecto de su aplicación y efectividad, particularmente aquellas relacionadas con el sistema de extracción y renovación del aire. En este sentido, el mantenimiento de los sistemas constituye una medida necesaria para asegurar su funcionamiento, pero no necesariamente garantiza por sí solo una extracción suficiente de los gases anestésicos residuales generados durante los procedimientos.

Por otra parte, las medidas administrativas y la vigilancia de la salud cumplen una función complementaria dentro de la gestión preventiva, pero no permiten controlar directamente la concentración del contaminante en el ambiente. Por esta razón, considerando los resultados obtenidos, se identifica como principal oportunidad de mejora el fortalecimiento de los controles de ingeniería destinados a evitar la acumulación y favorecer la extracción de los gases anestésicos residuales.

En consecuencia, los antecedentes analizados permiten establecer que existe una necesidad de evaluar y fortalecer las medidas de control actualmente disponibles, en especial aquellas relacionadas con la ventilación y extracción, lo que será considerado posteriormente en la propuesta de medidas de control del presente trabajo.

2.6. Cierre capítulo II.

Los antecedentes desarrollados en este capítulo permitieron caracterizar las condiciones asociadas a la exposición ocupacional a sevoflurano en los pabellones quirúrgicos, considerando el marco normativo aplicable, las características del agente, las condiciones de operación del área y los criterios utilizados para la evaluación higiénica.

Las mediciones ambientales realizadas por el Instituto de Seguridad del Trabajo (IST) evidenciaron la presencia de sevoflurano en los puestos de trabajo evaluados, registrándose concentraciones superiores al valor de referencia utilizado para la evaluación en la totalidad de las mediciones. La magnitud de las concentraciones presentó diferencias entre los pabellones y cargos, destacándose los mayores valores en los médicos anestesiólogos de los pabellones 1 y 6.

Desde la perspectiva de la higiene ocupacional, los resultados permiten identificar una condición de exposición que debe ser abordada considerando las concentraciones ambientales registradas, la frecuencia de los procedimientos quirúrgicos, el tiempo de permanencia del personal en los pabellones y las condiciones existentes para la ventilación, renovación del aire y extracción de gases anestésicos residuales.

En particular, los resultados obtenidos por el IST constituyen un antecedente técnico fundamental para el presente trabajo, ya que evidencian que las condiciones existentes no han sido suficientes para mantener las concentraciones de sevoflurano dentro del valor de referencia utilizado en la evaluación. Esta situación se presenta en la totalidad de los puestos evaluados y, debido a la magnitud de las excedencias observadas, permite establecer la necesidad de fortalecer los controles destinados a reducir la presencia del contaminante en el ambiente de trabajo.

A partir de estos resultados, se identifica como una necesidad prioritaria la revisión y fortalecimiento de los controles de ingeniería asociados a la ventilación, renovación del aire y extracción de gases anestésicos residuales. Por lo tanto, las conclusiones derivadas de las mediciones del IST proporcionan la base técnica que sustenta el desarrollo de una propuesta de mejora del sistema de ventilación de los pabellones quirúrgicos, la cual será abordada en el Capítulo III.

Capítulo III: Propuesta de sistema de ventilación para pabellones quirúrgicos.

3.1. Descripción teórica de sistemas de ventilación.

La ventilación constituye una de las principales medidas de ingeniería utilizadas para controlar contaminantes presentes en ambientes interiores.

En establecimientos de salud, los sistemas de ventilación cumplen funciones relacionadas con la renovación de aire, el control de contaminantes, y la protección de áreas críticas y el mantenimiento de condiciones ambientales adecuadas para pacientes y trabajadores.

3.1.1. Ventilación natural.

La ventilación natural corresponde al intercambio de aire entre el interior y el exterior de un recinto mediante aberturas como puertas, ventanas o rejillas, aprovechando diferencias de presión y temperaturas. Su utilización en áreas críticas hospitalarias es limitada debido a la dificultad para controlar los caudales de aire, la filtración y la calidad ambiental requerida.

3.1.2. Ventilación mecánica.

La ventilación mecánica utiliza equipos motorizados para impulsar aire tratado hacia los recintos. Este tipo de sistemas permite controlar variables como temperatura, humedad, filtración y renovaciones de aire por hora, siendo el método más utilizado en pabellones quirúrgicos y otras áreas críticas hospitalarias.

3.1.3. Sistemas de presión positiva.

Los sistemas de presión positiva mantienen una presión interior superior a la de los espacios adyacentes. Esta condición permite que el flujo de aire se desplace desde el interior del recinto hacia las áreas vecinas, reduciendo el ingreso de contaminantes externos y favoreciendo la protección del ambiente quirúrgico.

3.1.4. Sistemas de presión negativa.

Los sistemas de presión negativa mantienen una presión inferior respecto de las áreas adyacentes, permitiendo contener contaminantes dentro de un recinto específico. Son

utilizados principalmente en salas de aislamiento para pacientes con enfermedades infectocontagiosas.

3.1.5. Sistemas de filtración HEPA.

Los filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air) son dispositivos de alta eficiencia utilizados para retener partículas microscópicas presentes en el aire. Su aplicación es habitual en áreas hospitalarias críticas debido a su capacidad para mejorar la calidad del aire impulsado hacia los recintos.

3.2. Filosofía de funcionamiento seleccionada.

La filosofía de funcionamiento seleccionada para la presente propuesta corresponde a un sistema de ventilación mecánica con presión positiva para pabellones quirúrgicos. Esta alternativa fue definida considerando las condiciones identificadas en el diagnóstico desarrollado en el Capítulo II y tiene como propósito mejorar las condiciones de ventilación del área quirúrgica y favorecer el control de los gases anestésicos residuales generados durante los procedimientos.

La selección de esta filosofía se fundamenta en la necesidad de mejorar la renovación del aire al interior de los pabellones y disminuir la acumulación de contaminantes, considerando que las mediciones ambientales realizadas por el Instituto de Seguridad del Trabajo (IST) evidenciaron concentraciones de sevoflurano superiores al valor de referencia utilizado para la evaluación. En este contexto, la ventilación mecánica permite controlar de manera sistemática el suministro y extracción de aire, a diferencia de una ventilación dependiente de condiciones naturales o de un funcionamiento no controlado.

La incorporación de presión positiva responde a la necesidad de establecer una dirección controlada de los flujos de aire entre el pabellón quirúrgico y las áreas adyacentes. Al mantener una presión mayor dentro del pabellón, se favorece el desplazamiento del aire desde el recinto hacia los espacios circundantes ante posibles transferencias de aire, reduciendo el ingreso de aire proveniente de áreas externas al pabellón. Esta condición permite contribuir al mantenimiento de las condiciones ambientales requeridas para el funcionamiento del área quirúrgica.

La presión positiva debe entenderse como parte del funcionamiento integral del sistema y no como el único mecanismo destinado a controlar la concentración de sevoflurano. La reducción de los gases anestésicos residuales depende principalmente de la adecuada renovación y extracción del aire, mientras que la presión positiva permite controlar la relación de presiones y la dirección de los flujos entre recintos. Por esta razón, la filosofía seleccionada considera el funcionamiento conjunto de los sistemas de inyección y extracción definidos en la propuesta.

Asimismo, esta alternativa permite mantener un funcionamiento controlado del sistema de ventilación durante el desarrollo de los procedimientos quirúrgicos, favoreciendo una renovación continua del aire del recinto y evitando, en la medida de lo posible, la permanencia innecesaria de contaminantes en las zonas ocupadas por los trabajadores.

La selección de esta filosofía se realiza considerando las condiciones estructurales y operacionales actualmente identificadas en los pabellones quirúrgicos del Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez, por lo que la propuesta se desarrolla sobre la infraestructura existente y busca mejorar las condiciones de ventilación sin modificar la distribución funcional del pabellón establecida para el presente trabajo.

En consecuencia, la filosofía de funcionamiento seleccionada establece como principio general mantener una presión positiva en el pabellón mediante un suministro controlado de aire, acompañado de un sistema de extracción que permita favorecer la renovación del aire y la remoción de gases anestésicos residuales. Sobre esta base se desarrolla el diseño del sistema de ventilación propuesto para el pabellón seleccionado.

3.3. Sistema de ventilación propuesto.

La propuesta desarrollada considera la implementación de un sistema de ventilación mecánica para el Pabellón 1, seleccionado como recinto de referencia debido a que presentó la mayor concentración de sevoflurano registrada durante las mediciones ambientales realizadas por el Instituto de Seguridad del Trabajo (IST).

De acuerdo con los resultados presentados en el Capítulo II, el Pabellón 1 registró una concentración de 1.083 mg/m³ de sevoflurano en el puesto correspondiente al médico anesthesiólogo, valor que supera ampliamente el Límite Permisible Temporal (LPT) de 16,36 mg/m³ utilizado como criterio de comparación para la evaluación.

Por este motivo, el Pabellón 1 fue seleccionado como recinto de referencia para el desarrollo de la propuesta de control de ingeniería, debido a que representa la condición de mayor concentración identificada durante la evaluación ambiental.

El sistema propuesto tiene como finalidad favorecer la renovación del aire interior y contribuir a disminuir la permanencia de gases anestésicos residuales en el ambiente de trabajo.

La solución contempla los siguientes elementos principales:

- Ventilador centrífugo.
- Filtro HEPA H13.
- Ducto de impulsión.
- Difusor de suministro de aire.
- Rejillas de salida existentes.
- Sistema de impulsión mecánica.
- Mantenimiento de presión positiva al interior del pabellón.

Para establecer las características del sistema se consideraron las condiciones de funcionamiento del pabellón, la generación estimada de sevoflurano durante una jornada de trabajo y las pérdidas de presión producidas por los componentes del sistema.

A partir de estos antecedentes se determinaron el caudal de ventilación requerido, las dimensiones del ducto de impulsión, las pérdidas de carga y la presión de trabajo necesaria para seleccionar el ventilador.

3.3.1. Condiciones de operación para el diseño.

Para establecer las condiciones de diseño del sistema de ventilación propuesto se consideró el funcionamiento habitual del Pabellón 1 durante una jornada de ocho horas de operación.

De acuerdo con la información proporcionada por médicos anestesiólogos que desempeñan funciones en el área de pabellones quirúrgicos, durante una jornada de

ocho horas se utiliza aproximadamente medio frasco de sevoflurano, equivalente a un volumen de 250 mL.

Este antecedente operacional fue considerado como condición de diseño para estimar la cantidad de sevoflurano que potencialmente puede incorporarse al ambiente durante una jornada de trabajo.

Para efectos del cálculo se consideró una densidad aproximada del sevoflurano de 1,52 g/mL.

A partir del volumen utilizado y de la densidad del agente se determinó la masa total correspondiente a la jornada de diseño. Posteriormente, esta cantidad fue utilizada para establecer la tasa de generación del contaminante y determinar el caudal de ventilación requerido mediante un balance de masa.

La utilización de este antecedente permite relacionar el dimensionamiento del sistema con las condiciones reales de operación informadas por el personal médico que participa directamente en los procedimientos quirúrgicos.

3.3.2. Determinación del caudal de ventilación.

Para determinar el caudal de aire requerido, se realizó un balance de masa, considerando la generación de gases anestésicos residuales durante una jornada laboral.

Como condición de diseño se estableció un consumo equivalente a un frasco completo de anestésico (250 mL) distribuido a lo largo de dos jornadas operativas de ocho horas (lo que representa un periodo acumulado de operación de 16 horas). Considerando una densidad del Sevoflurano de 1,52 g/mL, la masa total de anestésico evaporado corresponde a:

$$m = 250 \text{ ml} \times 1,52 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m = 380 \text{ g}$$

Expresando este valor en miligramos:

$$m = 380.000 \text{ mg}$$

La tasa de generación de contaminante se determinó mediante:

$$G = \frac{380.000 \text{ mg}}{16 \text{ h}}$$

Obteniéndose:

$$G = 23.750 \frac{\text{mg}}{\text{h}}$$

Suponiendo régimen permanente, sin acumulación de contaminantes al interior del recinto y despreciando fenómenos de consumo o transformación química, el balance de masa queda definido por:

$$\text{Generacion} = \text{Salida}$$

Por consiguiente:

$$G = Q \times C$$

Donde:

- G = tasa de generación del contaminante ($\frac{\text{g}}{\text{ml}}$)
- Q = caudal de ventilación ($\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$)
- C = concentración de diseño del contaminante ($\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$)

Considerando una concentración de diseño de:

$$C = 16,36 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Se obtiene:

$$Q = \frac{23.750}{16,36}$$

Resultando un caudal de ventilación requerido de:

$$Q = 1.451,71 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Por criterios de diseño y selección comercial de equipos, el caudal de operación del sistema se estableció en:

$$Q = 1.452 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Equivalente a :

$$Q = 0,40 \frac{m^3}{s}$$

3.3.3. Dimensionamiento del ducto de impulsión.

Para el dimensionamiento del conducto se consideró una velocidad recomendada de transporte de aire de:

$$V = 10 \text{ m/s}$$

Aplicando la ecuación de continuidad:

$$Q = V \times A$$

$$0,40 = 10 \times A$$

Obteniéndose:

$$A = 0,04 \text{ m}^2$$

Posteriormente, mediante la relación geométrica para ductos circulares:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D^2 = \frac{4A}{\pi}$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(0,04)}{\pi}} = 0,22 \text{ m}$$

Despejando el diámetro se obtiene:

$$D = 0,22 \text{ m}$$

$$D = 220 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el sistema considera un ducto circular de aproximadamente 220 mm de diámetro y una longitud de diseño de 10 metros.

3.3.4. Pérdidas de carga del sistema.

Para la estimación de las pérdidas de presión se consideran las resistencias generadas por el filtro HEPA, el tramo del ducto y los accesorios del sistema.

- Pérdidas del ducto: se consideró una rugosidad absoluta para ducto de acero laminado de 0,00033 m, obteniéndose una rugosidad relativa de 0,0013 para un diámetro de ducto de 0,22 m.

Para determinar el régimen del flujo, se calculó el número de Reynolds mediante la siguiente expresión:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Donde:

- ρ corresponde a la densidad del aire.
- V velocidad del aire
- D diámetro interno del ducto
- μ viscosidad dinámica del aire.

Considerando una densidad del aire de 1,20 Kg/m³, una velocidad de 10 m/s, un diámetro de 0,22 m y una viscosidad dinámica de 1.81x10⁻⁵ Pa, se obtiene:

$$Re = \frac{(1,20)(10)(0,22)}{1,81 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 145,856$$

El valor obtenido es superior a 4.000, por lo que el flujo se encuentra en régimen turbulento. A partir del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de 0,0015, se determinó mediante el diagrama de Moody un coeficiente de fricción de Darcy de:

$$f = 0,018$$

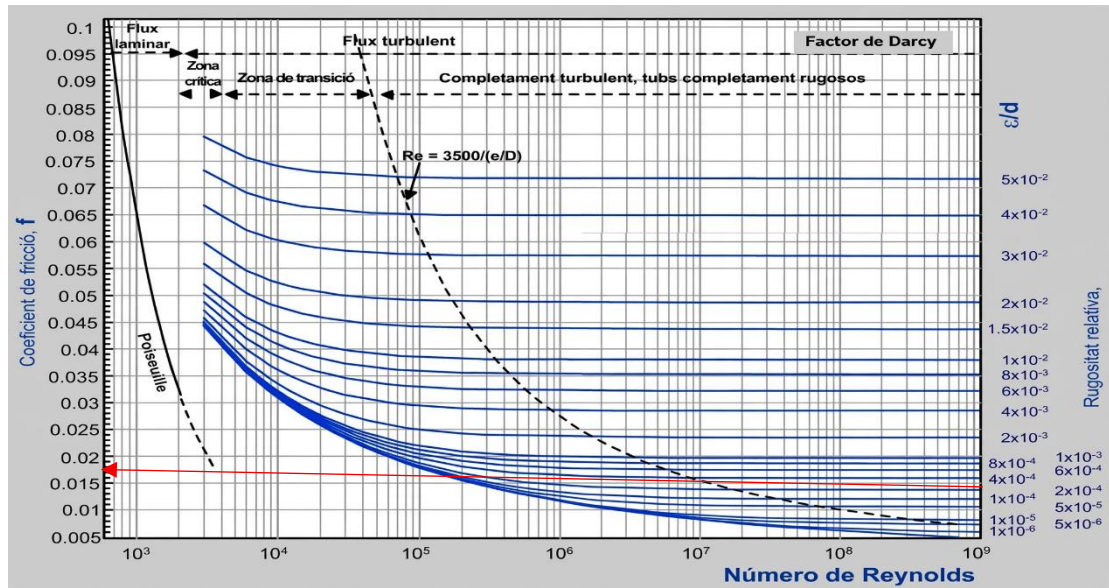


Figura 3.1. Diagrama de Moody utilizado para la determinación del factor de fricción.

Fuente: Adaptado de Mecánica de Fluidos.

Aplicando la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$hf = \left(f \frac{L}{D} + \Sigma K\right) \frac{\rho V^2}{2}$$

Considerando:

- hf = pérdida de carga total, en Pa
- f = factor de fricción de Darcy = 0,018
- L = longitud del ducto = 10 m
- D = diámetro del ducto = 0,22 m
- ΣK = suma de coeficientes de pérdidas de los accesorios
- ρ = densidad del aire = 1,20 kg/m³
- V = velocidad del aire = 10 m/s

Primero tenemos:

$$f \frac{L}{D} = 0,018 \frac{10}{0,22} = 0,8182$$

Y:

$$\frac{\rho V^2}{2} = 60 \text{ Pa}$$

Por lo tanto, la parte correspondiente solamente al ducto es:

$$hf, ducto = 0,8182(60)$$

$$hf, ducto = 49,09 Pa$$

3.3.5. Pérdidas en los accesorios.

La selección de los accesorios del sistema de ventilación se realizó en función de la configuración y el trazado propuesto para la conducción del aire. Los 4 codos corresponden a los cambios de dirección necesarios para conectar los distintos tramos del ducto y permitir que el flujo de aire se conduzca desde el punto de captación hasta el punto de descarga o distribución definido en el sistema.

Para los cambios de dirección se consideran codos de conducción fabricados en tres piezas, debido a que esta configuración permite adaptar el recorrido del ducto a la disposición física de la instalación, manteniendo la continuidad de la conducción y facilitando el montaje de los diferentes tramos del sistema. La cantidad de codos considerada se establece a partir de los cambios de dirección representados en el trazado del sistema propuesto.

Para cada codo se consideró un coeficiente de pérdida:

$$K = 30f$$

Por consiguiente:

$$K = 30(0,0015) = 0,39$$

La pérdida de presión total en los cuatro codos se calculó mediante:

$$\Delta P_{codos} = \Sigma K \frac{\rho V^2}{2}$$

- $\Sigma K = 1,56$ suma de los 4 codos
- ρ = densidad del aire = 1,20 kg/m³
- V = velocidad del aire = 10 m/s

$$\Delta P_{codos} = 93,6 Pa$$

3.3.6. Pérdidas en el filtro.

De acuerdo con las especificaciones técnicas del filtro HEPA seleccionado, se consideró una pérdida de presión aproximada de:

$$\Delta P_{filtro} = 630 \text{ Pa}$$

Las características del filtro se presentan en el Anexo D.

3.3.7. Presión total requerida.

La pérdida de carga total del sistema corresponde a la suma de las resistencias de todos sus componentes:

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{filtro} + \Delta P_{ducto} + \Delta P_{codos}$$

$$\Delta P_{total} = 630 + 49,09 + 93,6$$

$$\Delta P_{total} = 772,69 \text{ Pa}$$

Tabla 3.1. Sumatoria total de pérdida de presión de componentes.

Componente	Pérdida de presión
Filtro HEPA	630 Pa
Ducto	49,09Pa
Codos	93,6 Pa
Total	772,69 Pa

Para efectos de diseño se adopta una presión de trabajo de:

$$\Delta P_{diseño} = 773 \text{ Pa}$$

3.3.8. Selección del ventilador.

Una vez determinadas las condiciones de operación y las pérdidas de carga del sistema de ventilación, se procedió a seleccionar un ventilador centrífugo mediante el análisis de las curvas de rendimiento proporcionadas por el fabricante.

El punto de diseño del sistema quedó definido por los siguientes parámetros:

- Caudal de diseño: $1.452 \frac{m^3}{h}$
- Pérdida de carga total requerida: 773 Pa

La pérdida de carga total corresponde a la suma de las pérdidas generadas por el tramo de ducto, los accesorios de conducción y el filtro HEPA considerado en el diseño.

Con estos parámetros se analizó la curva característica del ventilador VTV/EC-400-T, considerando el punto de operación correspondiente a un caudal de 1.452 m³/h y una presión requerida de aproximadamente 773 Pa. La verificación se realizó sobre la curva de funcionamiento correspondiente a una señal de control de 10 V, observándose que el punto de diseño se encuentra dentro de la zona de funcionamiento del equipo. De acuerdo con esta verificación, el ventilador seleccionado presenta capacidad suficiente para proporcionar el caudal requerido y vencer las pérdidas de carga estimadas para el sistema.

Según la información técnica proporcionada por el fabricante, el equipo seleccionado presenta las siguientes características:

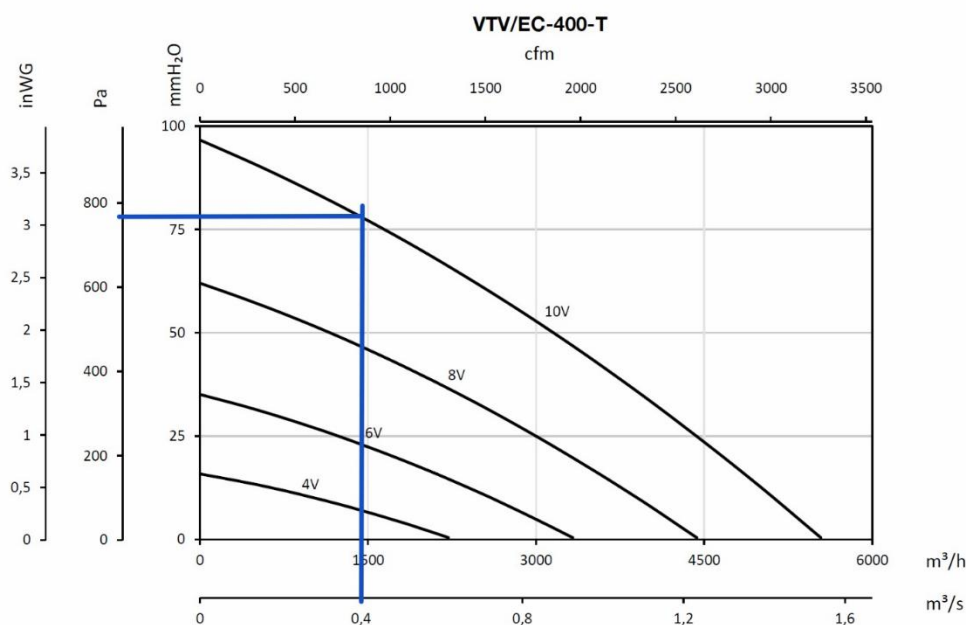
Tabla 3.2. Características técnicas del ventilador VTV/EC-400-T

Parámetro	Valor
Modelo	VTV/EC-400-T
Curva de Operación	10 v
Diámetro nominal	400 mm
Tipo de ventilador	Ventilador centrífugo
Motor	EC

Fuente: ficha técnica de fabricante.

La selección del ventilador permite proporcionar de manera continua el caudal de aire requerido por el sistema, considerando las pérdidas de presión asociadas al filtro HEPA, al tramo de ducto y a los accesorios de conducción. De esta manera, el sistema contribuye a mantener la renovación permanente del aire del pabellón y a favorecer el control de los gases anestésicos residuales presentes en el ambiente.

La ficha técnica del ventilador seleccionado se incorpora en el Anexo C.



11

Figura 3.2 Curva característica del ventilador centrífugo seleccionado, indicando el punto de operación del sistema.

Fuente: Elaboración propia a partir de la ficha técnica del fabricante.

3.4. Funcionamiento del sistema propuesto.

El sistema de ventilación propuesto para el pabellón 1 funciona mediante la impulsión mecánica de aire exterior previamente filtrado hacia el interior del pabellón quirúrgico, generando las condiciones necesarias para mantener una presión positiva respecto de las áreas adyacentes.

El aire exterior es captado e impulsado mediante el ventilador centrífugo seleccionado, ingresando posteriormente al sistema de filtración, donde atraviesa un filtro HEPA H13 antes de ser conducido hacia el interior del pabellón mediante el ducto de impulsión.

Una vez filtrado, el aire es transportado a través del ducto galvanizado hasta el difusor de impulsión ubicado sobre la zona de la mesa quirúrgica, desde donde es distribuido al interior del recinto.

El suministro continuo de aire permite favorecer la renovación del aire interior y establecer una condición de presión positiva en el pabellón. Bajo esta condición, se favorece el desplazamiento del aire desde el pabellón hacia las áreas adyacentes a través de las vías de salida existentes.

De esta manera, el funcionamiento conjunto de la impulsión, filtración, distribución y salida del aire permite favorecer la renovación del aire del recinto y disminuir la permanencia de gases anestésicos residuales en la zona de trabajo.

El funcionamiento del sistema puede representarse de manera secuencial de la siguiente forma:

Aire exterior → Ventilador centrífugo → Filtro HEPA H13 → Ducto de impulsión → Difusor → Pabellón quirúrgico → Rejillas de salida existentes

La operación continua del sistema durante la jornada de funcionamiento del pabellón permite mantener el suministro de aire y favorecer la renovación del aire interior, contribuyendo al control de la exposición ocupacional a gases anestésicos residuales.

3.4.1. Unidad de tratamiento de aire.

La unidad de tratamiento corresponde al conjunto de elementos destinados a captar, impulsar y acondicionar el aire antes de su ingreso al pabellón quirúrgico.

En la propuesta desarrollada, el movimiento del aire es generado mediante un ventilador centrífugo, seleccionado de acuerdo con el caudal y la presión de trabajo determinados mediante los cálculos de diseño.

El sistema permite proporcionar un suministro continuo de aire hacia el pabellón, manteniendo las condiciones de operación establecidas para la propuesta.

3.4.2. Sistema de filtración.

El sistema considera la incorporación de un filtro HEPA H13, ubicado en la línea de impulsión antes del ingreso del aire al pabellón.

La función del filtro es mejorar la calidad del aire suministrado mediante la retención de partículas presentes en el aire de impulsión, contribuyendo a mantener condiciones adecuadas de calidad del aire para el recinto quirúrgico.

La pérdida de presión asociada al filtro fue considerada dentro del cálculo de pérdidas de carga realizado para determinar la presión requerida por el ventilador.

3.4.3. Difusores de impulsión.

El difusor de impulsión constituye el punto de distribución del aire filtrado hacia el interior del pabellón.

En el diseño propuesto, el difusor se encuentra ubicado sobre la zona de la mesa quirúrgica, permitiendo distribuir el aire suministrado dentro del área de trabajo.

Su ubicación forma parte de la configuración definida en el diseño del sistema y busca favorecer una distribución adecuada del aire impulsado y la renovación del aire del recinto.

3.4.4. Sistemas de control de presión.

El sistema de impulsión permite establecer una condición de presión positiva al interior del pabellón respecto de las áreas adyacentes.

La presión positiva se obtiene mediante el suministro controlado de aire al recinto, favoreciendo que el aire se desplace desde el pabellón hacia las áreas circundantes a través de las vías de salida existentes.

Esta condición contribuye a limitar el ingreso de aire proveniente de áreas adyacentes y permite mantener una dirección controlada del flujo de aire.

La presión positiva constituye, por lo tanto, un componente complementario del sistema de ventilación, mientras que la renovación y salida del aire contribuyen directamente al control de los gases anestésicos residuales presentes en el ambiente.



Figura 3.3. Funcionamiento del sistema de ventilación propuesto para pabellones quirúrgicos.
Fuente: Ingenin, Equipos de aire acondicionado para quirófanos: guía para hospitales y clínicas.



Figura 3.4. Componentes de Sistema de ventilación.
Fuente: Elaboración Propia.

3.5. Beneficios esperados del sistema propuesto.

La implementación del sistema de ventilación propuesto permitiría mejorar las condiciones ambientales presentes en el área de pabellones quirúrgicos y reducir la exposición ocupacional a gases anestésicos residuales.

Entre los principales beneficios esperados se encuentran:

- Mejorar la calidad del aire interior en los pabellones quirúrgicos
- Favorecer la dilución de gases anestésicos residuales
- Reducir la exposición ocupacional del personal de salud
- Mejora de las condiciones ambientales del área quirúrgica
- Fortalecer el cumplimiento de los requisitos normativos aplicables
- Contribuir a la gestión preventiva de riesgos en el establecimiento

Asimismo, la propuesta contribuiría a fortalecer las medidas preventivas existentes y favorecer una gestión más eficiente de los riesgos higiénicos presentes en el área quirúrgica.

3.6. Consideraciones técnicas y operacionales.

Para la correcta implementación del sistema propuesto resulta necesario considerar aspectos técnicos y operacionales asociados a las características estructurales del establecimiento y al funcionamiento continuo del área quirúrgica.

Debido a que los pabellones quirúrgicos corresponden a áreas críticas de funcionamiento permanente, cualquier intervención sobre el sistema de ventilación debe planificarse de manera gradual y coordinada con las actividades clínicas del hospital.

Asimismo, se recomienda realizar evaluaciones periódicas del funcionamiento del sistema de ventilación, incluyendo monitoreo ambiental y revisión de las condiciones de renovación de aire presentes en el recinto.

La mantención preventiva del sistema constituye un aspecto fundamental para asegurar la eficiencia operacional y la continuidad de las medidas de control implementadas.

Adicionalmente, se recomienda mantener registros de mantenimiento, limpieza de ductos, revisión de filtros HEPA y control operacional de los equipos de impulsión y extracción de aire.

3.7. Modelo del sistema de ventilación propuesto.

El sistema de ventilación propuesto para el pabellón quirúrgico del Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez fue diseñado considerando la necesidad de disminuir la concentración de gases anestésicos residuales presentes en el ambiente laboral, mediante la incorporación de un sistema de ventilación mecánica con impulsión de aire filtrado y extracción controlada del aire interior.

De acuerdo con los cálculos realizados, se desarrolló el plano del sistema de ventilación propuesto para un pabellón quirúrgico, considerando la ubicación del ventilador, el filtro HEPA, el ducto de impulsión, el difusor de suministro de aire y el sentido del flujo dentro del recinto.

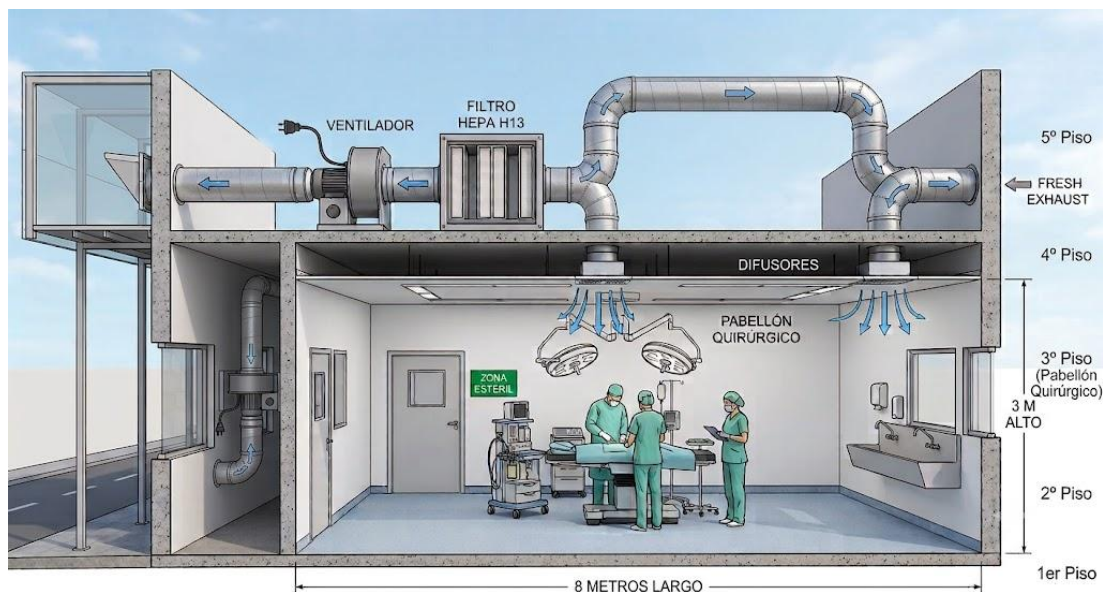


Figura 3.5. Plano del sistema de ventilación propuesto para pabellón quirúrgico
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.5 se observa la disposición del sistema diseñado para mantener presión positiva al interior del pabellón quirúrgico. El aire exterior ingresa al sistema a través del ventilador centrífugo, atraviesa el filtro HEPA H13 y es impulsado mediante ductos galvanizados hasta el difusor ubicado sobre la mesa quirúrgica. El suministro de aire genera un gradiente de presión positiva que favorece el desplazamiento del aire hacia las rejillas de salida existentes, reduciendo la permanencia de contaminantes en la zona de trabajo.

3.8. Estimación de costos de implementación.

Con el propósito de evaluar la factibilidad técnica y económica del sistema de ventilación propuesto para los pabellones quirúrgicos del Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez, se realizó una estimación de los costos asociados a la adquisición de equipos, materiales, accesorios y mano de obra especializada requerida para su implementación.

La presente estimación tiene carácter referencial y fue elaborada utilizando información técnica y comercial disponible en proveedores nacionales especializados en sistemas de ventilación y climatización (HVAC). Los valores pueden variar dependiendo del proveedor seleccionado, disponibilidad de los equipos, condiciones comerciales, transporte y características propias del recinto donde se ejecute la instalación.

La implementación considera la instalación de un sistema de ventilación mecánica con presión positiva, compuesto por un ventilador centrífugo, filtro HEPA H13, ductería galvanizada, difusores, rejillas de extracción y los accesorios necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema diseñado en el presente trabajo.

3.8.1. Equipos principales.

El principal componente del sistema corresponde al ventilador centrífugo seleccionado en función del punto de operación determinado durante la memoria de cálculo, equivalente a un caudal de $1.452 \frac{m^3}{h}$ y una presión estática de 773 Pa.

De acuerdo con las curvas características del fabricante, se seleccionó el ventilador centrífugo VTV/EC-400-T, el cual cumple con las condiciones de diseño del sistema y posee un margen de operación adecuado para futuras pérdidas de carga producto del envejecimiento del filtro HEPA.

Asimismo, se considera un filtro HEPA H13 tipo Absolute, seleccionado por su alta eficiencia para retención de partículas y su aplicación en ambientes hospitalarios.

Tabla 3.3. Presupuesto de equipos principales.

Ítem	Especificación	Cantidad	Valor Unitario (CLP)	Subtotal (CLP)
Ventilador centrífugo	VTV/EC-400-T	1	\$2.430.681	\$2.430.681
Filtro HEPA H13	Filtros absolutos H13	1	\$439.348	\$439.348
Caja porta filtro	Acero galvanizado	1	\$305.385	\$305.385
Difusor de impulsión	Tipo hospitalario	1	\$44.800	\$44.800
Rejillas de extracción	Aluminio	2	\$49.900	\$99.800

Total equipos \$3.320.014.-

3.8.2. Materiales de instalación

La implementación requiere la fabricación de un sistema de ductos circulares galvanizados de 220 mm de diámetro, además de accesorios de unión, soporte y sellado que permitan asegurar la estanqueidad del sistema y minimizar pérdidas de presión.

Tabla 3.4. Materiales de instalación.

Material	Cantidad	Valor Unitario (CLP)	Total (CLP)
Ducto galvanizado Ø220 mm	10 m	\$24.000	\$240.000
Codo galvanizado 90° Ø220 mm	4	\$18.000	\$72.000
Uniones para ducto	6	\$7.000	\$42.000
Abrazaderas metálicas	10	\$9.363	\$93.363
Soportes estructurales	1 lote	\$55.000	\$55.000
Sellos HVAC	1 lote	\$35.000	\$35.000
Tornillería y fijaciones	1 lote	\$30.000	\$30.000

Subtotales materiales: \$567.363

3.8.3. Mano de obra especializada.

La instalación del sistema debe ser realizada por una empresa especializada en climatización y ventilación industrial, considerando la fabricación de ductos, montaje de equipos, instalación eléctrica, pruebas de funcionamiento y balanceo del sistema.

Tabla 3.5. Presupuesto referencial de instalación.

Servicio	Valor estimado (CLP)
Fabricación de ductos	\$450.000
Instalación de ductos	\$320.000
Instalación del ventilador	\$250.000
Instalación del filtro HEPA	\$250.000
Instalación de difusores y rejillas	\$220.000
Conexionado eléctrico	\$250.000
Balanceo del sistema	\$250.000
Puesta en marcha	\$180.000

Subtotal mano de obra: \$2.170.000.-

Valores de mercado en *Anexo E*.

3.8.4. Resumen económico

Tabla 3.6. Resumen de Inversión.

Concepto	Valor (CLP)
Equipos principales	\$3.320.014
Materiales	\$567.363
Mano de obra especializada	\$2.170.000

Subtotal: \$6.057.377.-

Se considera además un 10 % destinado a imprevistos, transporte de materiales y ajustes durante la instalación.

Tabla 3.7. Resumen de valor por contingencias.

Concepto	Valor
Contingencia (10 %)	\$605.737

Costo total estimado de implementación \$6.663.114.-

3.8.5. Análisis económico

La inversión estimada para implementar el sistema de ventilación propuesto asciende aproximadamente a \$6.663.114 pesos por pabellón quirúrgico.

Aunque representa una inversión inicial para el establecimiento de salud, ésta se justifica considerando los beneficios asociados a la disminución de la exposición ocupacional al sevoflurano y otros gases anestésicos residuales, la mejora de las condiciones ambientales del pabellón quirúrgico y el fortalecimiento de las medidas preventivas destinadas a proteger la salud de los trabajadores.

Adicionalmente, la implementación del sistema contribuiría al cumplimiento de los criterios técnicos establecidos para la ventilación de recintos hospitalarios, favoreciendo una adecuada calidad del aire interior y reduciendo el riesgo de contaminación ambiental durante los procedimientos quirúrgicos.

Desde el punto de vista preventivo, la inversión también podría generar beneficios indirectos relacionados con la disminución del ausentismo laboral, la reducción de la exposición a agentes químicos y la prolongación de la vida útil de los equipos de climatización mediante una operación controlada y planificada.

El costo estimado corresponde a la implementación de un pabellón quirúrgico. En caso de extender la solución a los seis pabellones evaluados por el IST, la inversión deberá ajustarse de acuerdo con las dimensiones, distribución y requerimientos específicos de cada recinto.

3.8.6. Consideraciones del presupuesto.

Los costos presentados en este apartado corresponden a una estimación referencial elaborada a partir de información técnica y comercial disponible en proveedores especializados del rubro HVAC. Los valores tienen como finalidad cuantificar la inversión requerida para implementar la propuesta desarrollada en el presente trabajo y no constituyen una cotización comercial definitiva.

Para una futura ejecución del proyecto se recomienda solicitar cotizaciones formales a empresas especializadas en climatización hospitalaria, con el fin de ajustar el presupuesto a las condiciones reales de la obra, considerando aspectos como transporte, montaje, certificaciones, garantías y plazos de ejecución.

Como respaldo de la estimación económica, se recomienda incorporar en los anexos del presente trabajo las fichas técnicas de los principales equipos seleccionados y las cotizaciones referenciales obtenidas de proveedores especializados.

3.9. Cierre capítulo III.

El desarrollo del presente capítulo permitió diseñar una propuesta técnica de un sistema de ventilación mecánica con presión positiva para un pabellón quirúrgico del Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez, orientada a disminuir la exposición ocupacional del personal de salud a los gases anestésicos residuales, particularmente al Sevoflurano.

La propuesta fue desarrollada mediante criterios de ingeniería, considerando inicialmente un balance de masa para determinar el caudal de aire requerido en función del consumo del agente anestésico durante una jornada quirúrgica. Posteriormente, se efectuó el dimensionamiento del sistema mediante el cálculo del diámetro del ducto, la determinación del régimen de flujo a través del número de Reynolds, el cálculo de la rugosidad relativa, la obtención del factor de fricción utilizando el diagrama de Moody y la estimación de las pérdidas de carga producidas por ductos, accesorios y filtro HEPA.

Con los resultados obtenidos fue posible determinar la presión total que debía vencer el sistema, permitiendo seleccionar un ventilador centrífugo que satisface las condiciones de operación requeridas para el diseño propuesto. Asimismo, se definieron los principales componentes del sistema, incluyendo el filtro HEPA H13, red de ductos y el difusor de impulsión, configurando un sistema que favorece el mantenimiento de presión positiva en el pabellón quirúrgico y contribuye a mejorar la calidad del aire interior.

Finalmente, se realizó una estimación referencial de los costos de implementación, considerando equipos, materiales y mano de obra especializada, lo que permitió evaluar la factibilidad económica de la propuesta y entregar una base para una futura implementación por parte del establecimiento de salud.

En conjunto, el sistema desarrollado constituye una propuesta técnicamente viable, sustentada en principios de ingeniería de ventilación y en los criterios técnicos aplicables a recintos hospitalarios, aportando una alternativa para mejorar las condiciones ambientales de los pabellones quirúrgicos y disminuir la exposición ocupacional a contaminantes químicos.

La implementación de este sistema permitiría mejorar las condiciones de ventilación del pabellón quirúrgico, contribuyendo a disminuir la exposición ocupacional al sevoflurano y fortaleciendo las medidas de control de ingeniería recomendada para ambientes hospitalarios.

Conclusiones.

El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar una propuesta de gestión del riesgo asociado a la exposición ocupacional al sevoflurano en los pabellones quirúrgicos del Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez, considerando tanto los aspectos normativos como las medidas de control ambientales del recinto.

A partir del análisis efectuado se constató que la exposición a gases anestésicos residuales constituye un riesgo de higiene ocupacional que debe ser gestionado mediante la aplicación de controles de ingeniería, administrativos y de vigilancia de la salud. En este contexto, la evaluación realizada por el Instituto de Seguridad del Trabajo permitió identificar deficiencias en el sistema de ventilación existente, evidenciando la necesidad de implementar mejoras que permitan reducir la concentración de contaminantes en el ambiente laboral.

El estudio del marco normativo permitió identificar la legislación nacional e internacional aplicable al manejo de sustancias peligrosas, la higiene ocupacional y la ventilación en establecimientos de salud. Asimismo, se constató que, si bien la normativa chilena contempla exigencias relacionadas con la calidad ambiental de los lugares de trabajo y con las condiciones de ventilación de pabellones quirúrgicos, la evaluación de la exposición a gases anestésicos se complementa con criterios y recomendaciones técnicas internacionales ampliamente aceptadas.

Como principal aporte del trabajo, se desarrolló una propuesta de un sistema de ventilación mecánica con presión positiva, diseñada mediante criterios de ingeniería y respaldada por una memoria de cálculo que permitió determinar el caudal de diseño, las pérdidas de carga del sistema y las condiciones de operación requeridas para la selección del ventilador centrífugo. La incorporación de un filtro HEPA H13 y un sistema de impulsión de aire limpio contribuye a mejorar la calidad del aire interior y favorece el mantenimiento de condiciones ambientales adecuadas para la realización de procedimientos quirúrgicos.

Adicionalmente, la estimación económica desarrollada demuestra que la implementación del sistema resulta técnicamente factible y proporciona una base para la planificación de futuras inversiones destinadas a mejorar la infraestructura

hospitalaria y fortalecer las medidas preventivas frente a la exposición ocupacional a gases anestésicos.

En términos generales, se concluye que la propuesta desarrollada constituye una alternativa viable para optimizar las condiciones de ventilación del pabellón quirúrgico, contribuyendo a disminuir la exposición del personal de salud al sevoflurano, fortalecer la gestión preventiva y promover ambientes de trabajo más seguros, en concordancia con los principios de la higiene ocupacional y la mejora continua.

Recomendaciones.

A partir de los antecedentes recopilados, los resultados de las evaluaciones ambientales y la propuesta de control desarrollada para el manejo del riesgo asociado a la exposición a sevoflurano, se establecen las siguientes recomendaciones:

1. Implementación de la medida de control de ingeniería

Se recomienda implementar el sistema de ventilación mecánica propuesto para el pabellón quirúrgico, considerando las condiciones de diseño establecidas en este trabajo. La medida busca favorecer la renovación permanente del aire y contribuir al control de los gases anestésicos residuales presentes en el ambiente de trabajo.

2. Mantención preventiva del sistema de ventilación

Se recomienda establecer un programa de mantenimiento preventivo para el sistema de ventilación, considerando la inspección periódica del ventilador, ductos, codos, uniones, soportes, rejillas y difusores. Las inspecciones deberán permitir detectar oportunamente obstrucciones, suciedad, fugas, deterioro de componentes, vibraciones o cualquier condición que pueda afectar el funcionamiento del sistema.

3. Control del filtro HEPA

Se recomienda implementar un sistema de seguimiento de la condición del filtro HEPA mediante el control de su pérdida de presión. Debido a que el diseño considera una pérdida máxima de 630 Pa, se deberá establecer un criterio de reemplazo que permita mantener el desempeño del sistema y evitar que la obstrucción progresiva del filtro genere una disminución del caudal de aire.

4. Verificación del funcionamiento del sistema

Una vez implementado el sistema, se recomienda realizar mediciones de caudal y presión con el objetivo de verificar que las condiciones reales de funcionamiento sean consistentes con los parámetros establecidos en el diseño. Estas verificaciones deberán repetirse periódicamente y después de intervenciones relevantes en el sistema.

5. Evaluación de la exposición ocupacional

Se recomienda realizar una nueva evaluación ambiental de sevoflurano posterior a la implementación del sistema de ventilación. Los resultados deberán compararse con las mediciones realizadas previamente, permitiendo determinar la efectividad de la medida de control y establecer, cuando corresponda, acciones complementarias.

6. Mantención y revisión del sistema de anestesia

Se recomienda reforzar la inspección y mantención preventiva de los equipos utilizados para la administración de anestesia, incluyendo vaporizadores, circuitos respiratorios, conexiones y sistemas de evacuación de gases anestésicos. La identificación y corrección oportuna de fugas constituye una medida complementaria al sistema de ventilación.

7. Procedimientos para situaciones de derrame o fuga

Se recomienda establecer y mantener procedimientos de actuación frente a derrames de sevoflurano, fugas del circuito anestésico o fallas del sistema de ventilación. Estos procedimientos deberán definir las acciones inmediatas, responsables y mecanismos de comunicación correspondientes.

8. Capacitación del personal

Se recomienda realizar capacitaciones periódicas dirigidas al personal que desarrolla actividades en los pabellones quirúrgicos, abordando los riesgos asociados a la exposición a gases anestésicos, las medidas preventivas, el uso adecuado de los equipos, el reconocimiento de fugas y las acciones que deben adoptarse ante condiciones anormales.

9. Registro y seguimiento

Se recomienda mantener registros documentados de las actividades de mantenimiento, inspecciones, reemplazo de filtros, mediciones de caudal y presión, evaluaciones ambientales y capacitaciones realizadas. Estos antecedentes permitirán realizar un seguimiento histórico del desempeño de las medidas implementadas y facilitarán la identificación de desviaciones.

10. Incorporación del riesgo asociado al sevoflurano en la gestión preventiva

Finalmente, se recomienda incorporar de manera permanente el riesgo asociado a la exposición ocupacional a sevoflurano dentro de la gestión de riesgos laborales del establecimiento. Para ello, se deberá considerar la combinación de medidas de ingeniería, administrativas y de seguimiento, priorizando las medidas de control en la fuente y en el medio de propagación, junto con la evaluación periódica de su eficacia.

En conjunto, estas recomendaciones buscan complementar la propuesta de ventilación desarrollada, promoviendo que las medidas de control no se limiten a la implementación inicial del sistema, sino que se mantengan operativas y sean evaluadas periódicamente, contribuyendo a la protección de los trabajadores expuestos a gases anestésicos residuales en los pabellones quirúrgicos.

Referencias.

Comercial Click, (s.f.) *Filtros HEPA Absolutos H13 y H14*.

<https://comercialclick.cl/producto/filtros-hepa/#absoluto>

Comercial Click. (s. f.). *Ficha técnica filtros HEPA H13*.

<https://comercialclick.cl/wp-content/uploads/Ficha-Tecnica-Filtros-HEPA-H13.pdf>

Comercial Click. (s. f.). *Servicios de instalación y mantenimiento de sistemas de filtración y ventilación*. <https://comercialclick.cl/servicios/>

Guía oficial MINSAL D.302 – Unidad de Pabellones Quirúrgicos

Instituto de Seguridad del Trabajo. (2023). *Informe técnico de evaluación*

cuantitativa de gases anestésicos en pabellones quirúrgicos del Hospital Dr. Eduardo Pereira. Unidad de Higiene Ocupacional.

International Organization for Standardization. (2016). *ISO 7396-1: Medical gas pipeline systems — Part 1: Pipeline systems for compressed medical gases and vacuum*.

Miller, R. D. (2015). *Miller's anesthesia* (8.^a ed.). Elsevier.

Ministerio de Salud de Chile. (1999). *Decreto Supremo N°594: Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo*. Diario Oficial de la República de Chile.

Ministerio de Salud de Chile. (2003). *Decreto Supremo N°148: Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos*. Diario Oficial de la República de Chile.

Ministerio de Salud de Chile. (2009). *Decreto Supremo N°78: Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas*. Diario Oficial de la República de Chile.

Ministerio de Salud de Chile. (2010). *Norma Técnica Básica N°40: Condiciones ambientales y ventilación en pabellones quirúrgicos*.

Ministerio de Salud de Chile. (2024). *Decreto Supremo N°44: Reglamento sobre gestión preventiva de riesgos laborales para un entorno de trabajo seguro y saludable*. Diario Oficial de la República de Chile.

Morgan, G. E., Mikhail, M. S., & Murray, M. J. (2013). *Clinical anesthesiology* (5.^a ed.). McGraw-Hill Education.

National Institute for Occupational Safety and Health. (2007). *Waste anesthetic gases: Occupational hazards in hospitals*. Centers for Disease Control and Prevention.

Occupational Safety and Health Administration. (s.f.). *Indoor air quality in commercial and institutional buildings*. United States Department of Labor.

Sasinca. (s. f.). *Ventiladores centrífugos serie CBM*

Soler & Palau. (s. f.). *Hojas técnicas de ventilación*. Hojas técnicas.

World Health Organization. (2009). *WHO guidelines for safe surgery 2009: Safe surgery saves lives*.

Anexos.

Anexo A. Informe de evaluación cuantitativa de gases anestésicos del Instituto de Seguridad del Trabajo (IST)

	GERENCIA ZONAL CENTRO-HIGIENE OCUPACIONAL	N° Inf.	HO.ZC.XXX.2025
	EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE GASES ANESTÉSICOS	Pág.	10 de 14

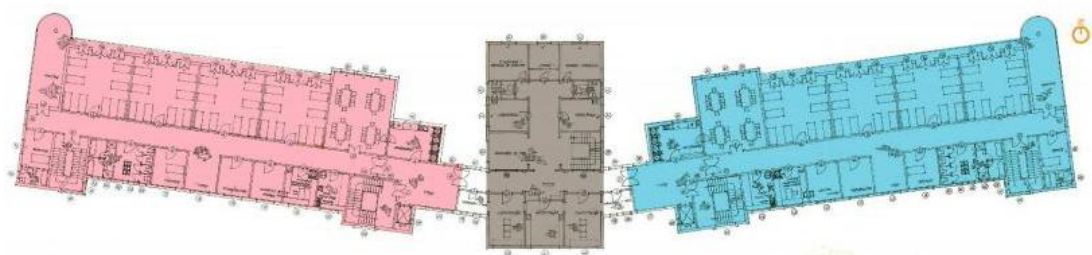
7.- ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

7.1.- Concentraciones de cada muestra respecto al Límite Permissible Temporal (LPT).

Los resultados de cada muestra se comparan directamente con el LPT (ver Tabla N° 4).
 Tabla N° 5. Resultados concentraciones respecto al Límite Permissible Temporal (LPT).

Área de trabajo	Puesto de trabajo	Agente de riesgo	Concentración de la muestra de solventes (mg/m³)	Límite Permissible Temporal (LPT) D.S. N° 594/99 (mg/m³)	Concentración respecto al LPT (%)	N° de trabajadores expuestos	
Pabellón N°1	Medico Anestesiólogo	SEVOFLURANO	1083	16,36	6619	21	
	Técnico Paramédico		77		473	63	
Pabellón N°2	Medico Anestesiólogo		62		380	21	
	Técnico Paramédico		108		659	63	
Pabellón N°3	Medico Anestesiólogo		62		377	21	
			17		105		
	Técnico Paramédico		54		333	63	
			10		61		
Pabellón N°4	Medico Anestesiólogo		24		147	21	
	Técnico Paramédico		25		151	63	
Pabellón N°6	Medico Anestesiólogo		679		4150	21	
			92		560		
	Técnico Paramédico		275		1682	63	
			68		416		

Anexo B. Planos del pabellón quirúrgico del Hospital Dr. Eduardo Pereira Ramírez.



Anexo C. Ficha técnica del ventilador.

VTV/EC-400-T de SODECA.

Extractores centrífugos de tejado, con aislamiento acústico, equipados con motor EC Technology y carcasa abatible para facilitar el mantenimiento.

Ventilador:

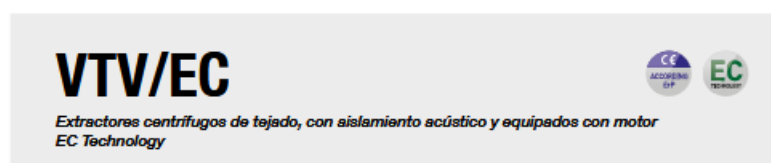
- . Turbina a reacción en chapa de aluminio, excepto modelos 190 y 250 en plástico.
- . Carcasa abatible para facilitar la inspección y el mantenimiento.
- . Descarga vertical.
- . Preparado con tomas de presión para el control automático de caudal o presión.
- . Aislamiento de lana mineral con altas prestaciones en atenuación acústica.
- . Interruptor de seguridad incluido, con cable de 1,5 metros.
- . Cubre motor para evitar la entrada de agua y nieve al conducto.

Motor:

- . Motores EC Technology de rotor exterior y regulables mediante señales PWM y 0-10 V.
- . Protección IP54.
- . Monofásico 230 V 50/60 Hz y trifásico 400 V 50/60 Hz.
- . Temperatura máxima del aire a transportar: -25 °C +50 °C.

Acabado:

- . Las partes expuestas a intemperie están fabricadas en chapa Magnelis. Categoría de protección anticorrosiva C5, según EN ISO 12944-2.



Extractores centrífugos de tejado, con aislamiento acústico, equipados con motor EC Technology y carcasa abatible para facilitar el mantenimiento.

Ventilador:

- . Turbina a reacción en chapa de aluminio, excepto modelos 190 y 250 en plástico.
- . Carcasa abatible para facilitar la inspección y el mantenimiento.
- . Descarga vertical.
- . Preparado con tomas de presión para el control automático de caudal o presión.
- . Aislamiento de lana mineral con altas prestaciones en atenuación acústica.
- . Interruptor de seguridad incluido, con cable de 1,5 metros.
- . Cubre motor para evitar la entrada de agua y nieve al conducto.

Motor:

- . Motores EC Technology de rotor exterior y regulables mediante señales PWM y 0-10 V.
- . Protección IP54.
- . Monofásico 230 V 50/60 Hz y trifásico 400 V 50/60 Hz.
- . Temperatura máxima del aire a transportar: -25 °C +50 °C.

Acabado:

- . Las partes expuestas a intemperie están fabricadas en chapa Magnelis. Categoría de protección anticorrosiva C5, según EN ISO 12944-2.

Código de pedido

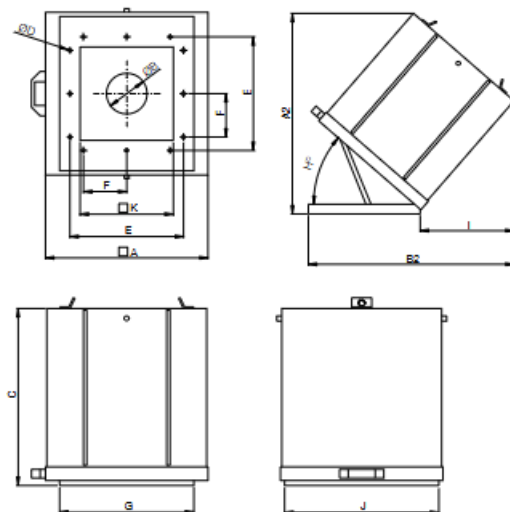
VTV/EC	—	310	—	M	/	L
↓		↓		↓		↓
VTV/EC: Extractores centrífugos de tejado, con aislamiento acústico y equipados con motor EC Technology		Tamaño		T = Trifásico M = Monofásico		L: Caudal bajo H: Caudal alto

Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)		Potencia eléctrica máx. (W)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel de presión sonora¹ (dB (A))	Peso aprox. (Kg)
		mín.	230V				
VTV/EC-190-M	3540	0,97		122	675	41	18
VTV/EC-250-M	2420	0,98		129	1190	42	21
VTV/EC-310-M/L	1920	1,35		187	2110	44	31
VTV/EC-310-M/H	2320	2,00		480	2780	48	33
VTV/EC-355-M	1480	1,45		226	2605	49	30
VTV/EC-400-M/L	1680	2,00		423	3760	46	42
VTV/EC-400-M/H	1700	4,70		782	5078	47	47
VTV/EC-400-T	2000		1,68	939	5540	48	46
VTV/EC-500-T	1250		2,00	1005	7790	53	54

¹. Nivel de presión sonora medido en dB(A) a 1 m de distancia a caudal máximo.

Dimensiones mm



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
VTV/EC-180-M	488	122	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-225-M	488	140	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-270-M	488	158	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-315-M	488	176	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-360-M	488	194	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-400-M	488	212	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-450-M	488	230	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-500-M	488	248	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-560-M	488	266	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-630-M	488	284	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-710-M	488	302	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-800-M	488	320	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-900-M	488	338	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-1000-M	488	356	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-1125-M	488	374	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-1250-M	488	392	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-1400-M	488	410	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-1575-M	488	428	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-1750-M	488	446	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-1950-M	488	464	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-2175-M	488	482	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-2400-M	488	500	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-2625-M	488	518	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-2850-M	488	536	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-3100-M	488	554	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-3375-M	488	572	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-3600-M	488	590	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-3825-M	488	608	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-4000-M	488	626	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-4250-M	488	644	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-4500-M	488	662	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-4750-M	488	680	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-5000-M	488	698	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-5250-M	488	716	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-5500-M	488	734	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-5750-M	488	752	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-6000-M	488	770	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-6250-M	488	788	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-6500-M	488	806	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-6750-M	488	824	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-7000-M	488	842	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-7250-M	488	860	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-7500-M	488	878	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-7750-M	488	896	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-8000-M	488	914	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-8250-M	488	932	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-8500-M	488	950	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-8750-M	488	968	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-9000-M	488	986	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-9250-M	488	1004	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-9500-M	488	1022	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-9750-M	488	1040	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													
VTV/EC-10000-M	488	1058	251	10	241	150	405	683	41	228	280	738	789													

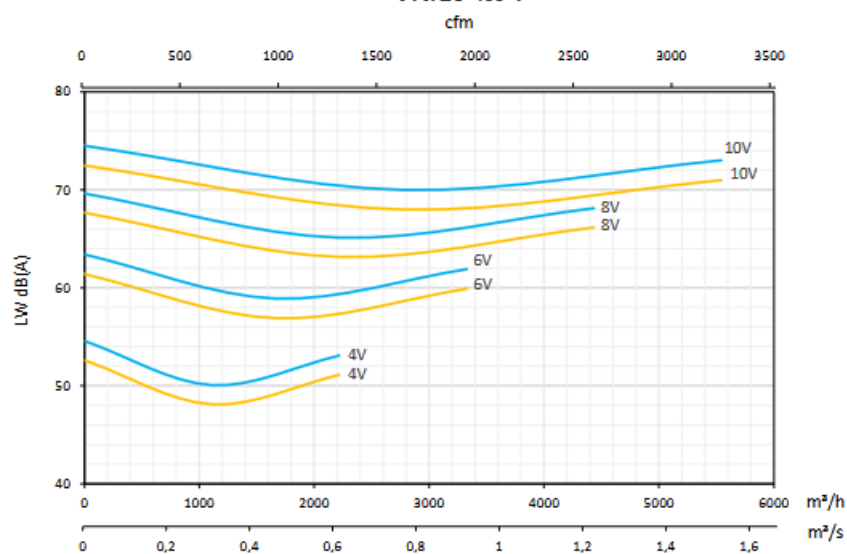
Características acústicas

Q= Caudal en m³/h, m³/s y cfm

Aspiración

Irradiado

VTV/EC-400-T



Anexo D. Ficha técnica del filtro HEPA H13.

	contacto@comercialclick.cl https://comercialclick.cl +562 3324 7534	Calidad al mejor precio
---	---	------------------------------------

FILTRO HEPA H13 24" x 24" x 6" SKU HLE610610150

Producto	Filtros Absolutos HEPA (H13)
Medidas	610x610x150mm (24"x24"x6")
Eficiencia	99.97% (H13) @0.3um
Material del Marco	Acero Galvanizado
Sello	Poliuretano (burlete) Ambas caras del filtro
Media Filtrante	Papel de Fibra de Vidrio
Separador	Aluminio
Grado Seguridad	UL 900
Temperatura Max.	≤ 80°C
Humedad	≤ 100% RH
Fujo de Aire	2.000 C.F.M
Caída de Presión Inicial	280 Pa
Caída de Presión Recomendada Final	800 Pa
Embalaje	Doble caja para mayor protección



Anexo E. Presupuesto referencial de implementación del sistema de ventilación.

	Código	Info	Resumen	Ud	CanPres	Pres
	PSOD10.2.8	reia	VTV/EC		1	
1	PSOD1761160	☐ T ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	VTV/EC-190-M	u		1.402,40
2	PSOD1760541	☐ T ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	VTV/EC-250-M	u		1.408,25
3	PSOD1760108	☐ T ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	VTV/EC-310-M/L	u		1.754,65
4	PSOD1760187	☐ T ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	VTV/EC-310-M/H	u		1.932,30
5	PSOD1759329	☐ T ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	VTV/EC-355-M	u		1.794,05
6	PSOD1759882	☐ T ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	VTV/EC-400-M/L	u		2.243,00
7	PSOD1759919	☐ T ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	VTV/EC-400-M/H	u		2.623,90
8	PSOD1759160	☐ T ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	VTV/EC-400-T	u		2.656,25
9	PSOD1758400	☐ T ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	VTV/EC-500-T	u		3.326,35



GABINETE PORTAFILTRO ALUMINIO 1 X 1 / 2 ETAPAS A

SKU: 787000004

VEX CHILE APLICADOS

Disponible

\$ 305.385

-

1

+

Agregar al carro

GABINETE PORTAFILTRO ALUMINIO 1 X 1 / 2 ETAPAS A

MEDIDAS 705 X 660 X 320 MM.

PARA FILTROS DE 24" X 24" X 2" Y 24" X 24" X 2" (METÁLICO Y PAPEL PLISADO)

FABRICADO EN PERFILERÍA DE ALUMINIO ANGULAR 30 X 30 MM.

UNIÓN CON CORNER DE NYLON



COTIZACION N°: 15123

RAZON SOCIAL: GRUPO INDUSTRIAL SPA
R.U.T.: 76.712.737-5
GIRO: SERVICIOS Y VENTAS DE PRODUCTOS INDUSTRIALES
DIRECCION: GENERAL BAQUEDANO 635, SANTIAGO
VENDEDOR: Lisaymar Espinoza
TELEFONO: +56 968376774

DATOS DE CONTACTO:
NOMBRE: jocelyn
CORREO:
FECHA DE EMISION: 06-07-2026
VALIDO HASTA: 16-07-2026

DATOS DE EMPRESA:
RAZON SOCIAL:
RUT:
DIRECCION:
REGION:

Cant	Producto	Desc	Valor Unitario	Subtotal
1	FILTRO HEPA 99,97% EFIC. EFICIENCIA H13 DIMENSIONES: 610X610X292 MM	0.0%	CLP 369.200	CLP 369.200

TOTALNETO	CLP 369.200
IVA (19%)	CLP 70.148
TOTAL GENERAL	CLP 439.348

DATOS PARA TRANSFERENCIA:
GRUPO INDUSTRIAL SPA
CUENTA CORRIENTE
BANCO SANTANDER
NUMERO 0-000-7710675-8
RUT: 76.712.737-5
CORREO: administracionsantiago@grupoindustrial.cl

PLAZO DE ENTREGA: 7 días Hábiles
FORMA DE PAGO: Pago Contado

Términos y condiciones generales:

- 1.- La cotización tiene una duración de tres (3) días.
- 2.- El cliente deberá emitir orden de compra o en su defecto enviar un correo confirmando el pedido.
- 3.- Las políticas de descuento son aplicadas única y exclusivamente para formas de pago al contado (transferencia o efectivo).
- 4.- Medios de pago: transferencia bancaria, efectivo y Redcompra.
- 5.- Al realizar una compra a crédito el cliente autoriza que esta se envíe a evaluación de factoring. Para ello, el cliente deberá suministrar los datos de su empresa y autorizar la evaluación financiera para la gestión del mismo.
- 6.- Para las ventas a crédito aprobadas por factoring el cliente autoriza la aplicación del 4% interés adicional en su compra, calculado sobre el monto total del presupuesto; y en caso de incurrir en retrasos en la fecha de pago acordada aprueba la aplicación de un porcentaje adicional por concepto de mora, equivalente al 3.95% mensual calculado sobre el monto total facturado.
- 7.- Para Reserva de equipos y fabricación de hojalatería, el cliente debe abonar el 50% de anticipo. La factura de estos productos se efectuará una vez estén disponibles en nuestra sucursal para ser retirados o despachados y estén cancelados en su totalidad.
- 8.- Plazo de entrega sujeto a stock de productos en bodega.
- 9.- Garantía Legal 6x3 bajo la Ley del Consumidor N° 19.496, artículo 20.

Condiciones de despacho:

10. Los despachos tienen un costo adicional y se realizan previa confirmación. Despachos en la RM tienen costo según la Comuna y se realizan previa confirmación. Despachos a Regiones se realizan con pago a destino, siendo responsabilidad del cliente cancelar el transporte.



\$9.363 ● 9 disponibles