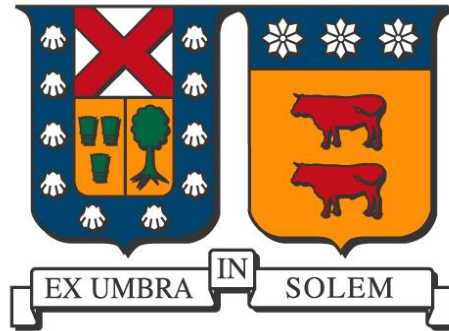


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA



EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE SISTEMA DE VENTILACIÓN EN EL LABORATORIO
DE METALURGIA DE LA SEDE VIÑA DEL MAR DE LA UTFSM

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniería en Prevención de Riesgos
Laborales y Ambientales.

Estudiante:

Constanza Andrea Rubilar Orrego

Profesora Guía:

Leonor Cabello Arellano

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente estudio se evaluó técnica y económicamente un sistema de ventilación para su posible implementación en el sector de conminución del Laboratorio de Minería y Metalurgia de la Sede Viña del Mar, de la Universidad Técnica Federico Santa María, ya que en él se utilizan equipos que emiten material particulado, como es el chancador de mandíbulas y el molino de bolas, y no existen medidas de control eficaces, solo disponen de ventilación natural.

Lo primero que se realizó para llevar a cabo las mediciones del agente en estudio mediante trenes de muestreo, fue calibrar las bombas que se utilizaron, determinando el caudal y con ello, el volumen de aire colectado. En dos de las mediciones se utilizaron como cabezal de muestreo un portafiltro, para obtener las concentraciones de polvos totales y en las otras dos mediciones se utilizaron ciclones para obtener la fracción respirable, las concentraciones resultantes se ponderaron a un tiempo de 8 horas, correspondiente al periodo de evaluación en concordancia a los límites permisibles ponderados del DS 594/2000 del MinSal, registrándose concentraciones de 11,30 mg/m³ y 15,06 mg/m³ para polvos totales y fracción respirable respectivamente en el chancador de mandíbulas, y de 7,91 mg/m³ (povos totales) y 10,67 mg/m³ (fracción respirable), en el molino de bolas. Si bien es cierto, las concentraciones de polvos totales deberían ser mayores a las obtenidas para la fracción respirable, esta situación se debió a una manipulación inadecuada en la toma de muestras y posterior análisis.

Luego se estudió el marco legal relacionado a la exposición de material particulado, a nivel institucional y nacional como la Constitución Política de la República de Chile, el Código del Trabajo, la Ley 16.744/68, el Decreto Supremo 40/1969, el Decreto Supremo 54/1969 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, entre otros cuerpos legales. Siendo uno de las más relevantes los límites permisibles ponderados indicados en el Decreto Supremo 594/2000 del Ministerio de Salud, en el artículo 66 que corresponden a 8 mg/m³

para polvos totales y $2,4 \text{ mg/m}^3$ para fracción respirable, por lo que al compararlos con los resultados obtenidos, es evidente que los sobrepasan, existiendo riesgo higiénico en el laboratorio.

Debido a esto, se estudió el marco teórico relacionado a los sistemas de ventilación, ya que es una medida de control muy eficaz, determinándose que la mejor propuesta consiste en un sistema de ventilación con extracción localizada simple, ya que estará compuesto por una captación, ductos lisos y rígido, un codo flexible, una expansión, una contracción y el ventilador. El caudal exigido por el sistema es de $728,11 \text{ pie}^3/\text{min}$ ($1.237 \text{ m}^3/\text{h}$) y la potencia al aire, la cual corresponde a la potencia mínima del ventilador, debe ser de 0,20 HP (0,15 KW).

Los costos asociados a la adquisición de los componentes del sistema son: la captación rectangular tipo pirámide, se fabricará en un hojalatería con las dimensiones específicas (40 x 20 cm), teniendo un valor de \$12.000 (0,435 UF). Se dispondrá de 3,30 metros de ductos lisos y rígidos de 5" de diámetro que tienen un valor de \$2.850 (0,103 UF) por metro, por lo tanto se deberán adquirir 4 ductos en locales comerciales (Sodimac), teniendo un valor total de \$11.400 (0,414 UF). El codo también tendrá un diámetro de 5" y será de tubo flexible y corrugado teniendo un valor de \$3.290 (0,119 UF) el cual se puede encontrar en el local comercial Easy. La expansión y contracción se fabricarán en la hojalatería, con el diámetro menor de 5" y el diámetro mayor de 10", teniendo un valor de \$5.000 (0,181 UF) cada uno, por lo que el valor total de estos accesorios es de \$10.000 (0,362 UF). El ventilador será el modelo SV-250/H de SODECA, ya que cumple con lo exigido, trabaja a un caudal máximo de $765,15 \text{ pie}^3/\text{min}$ ($1.300 \text{ m}^3/\text{h}$) y tiene una potencia de 0,27 HP (0,20 KW), este equipo tiene un valor de \$240.026 (8,707 UF). Por lo tanto el costo total de la propuesta de diseño del sistema de ventilación es de \$276.716 (10,038 UF).

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	2
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
SIGLA Y SIMBOLOGÍA	10
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
FUNDAMENTACIÓN	4
ALCANCE	5
METODOLOGÍA	6
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DEL LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGIA	7
1.1 ASPECTOS GENERALES	8
1.2 LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGIA	11
1.2.1 Equipos que emiten material particulado	13
1.2.2 Sistema de ventilación actual	17
CAPÍTULO 2: MARCO LEGAL Y TEÓRICO RELACIONADO A LA EXPOSICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO	19
2.1 MARCO LEGAL	20
2.1.1 Normativa nacional	20
2.1.2 Normativa institucional	25

2.2	SISTEMAS DE VENTILACIÓN	26
2.2.1	Ventilación general	27
2.2.2	Ventilación por extracción localizada	29

CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO EN EL LABORATORIO

3.1	MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1.1	Materiales	39
3.1.2	Método	44
3.2	RESULTADOS Y ANÁLISIS	48

CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE SISTEMA DE VENTILACIÓN

4.1	DISEÑO DE SISTEMA	54
4.1.1	Dimensiones del sistema	57
4.1.2	Cálculos de diseño del sistema	61
4.2	COTIZACIONES DEL SISTEMA PROPUESTO	77

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo 1. Pesos iniciales de portafiltros:	93
Anexo 2. Pesos finales de portafiltros:	94
Anexo 3. Cotización campana en “Hojalatería Torres”:	95
Anexo 4. Ficha técnica tubo acero galvanizado 5” de Sodimac:	96
Anexo 5. Ficha técnica tubo galvanizado 5” de Easy:	96
Anexo 6. Ficha técnica tubo galvanizado 5” de Construmart:	97
Anexo 7. Ficha técnica tubo corrugado aluminio 5” Dospel de Sodimac:	97
Anexo 8. Ficha técnica tubo corrugado 5” de Easy:	98
Anexo 9. Ficha técnica codo galvanizado 90° 5” de Construmart:	98
Anexo 10. Tarifas 2018 Modelo SV de SODECA:	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Frontis de Casa Central de la UTFSM.	9
Figura 1-2. Costado de Sede Viña del Mar Jose Miguel Carrera de la UTFSM.	10
Figura 1-3. Laboratorio de minería y metalurgia.	11
Figura 1-4. Lay out del laboratorio de minería y metalurgia.	12
Figura 1-5. Ingreso área de conminución.	12
Figura 1-6. Área de conminución.	12
Figura 1-7. Chancador de mandíbula del laboratorio.	14
Figura 1-8. Zona donde se introduce el material.	14
Figura 1-9. Recipiente de almacenamiento de material conminuido.	15
Figura 1-10. Molino de bolas.	16
Figura 1-11. Zona de alimentación del molino de bolas.	16
Figura 1-12. Rejilla molino de bolas.	16
Figura 1-13. Molino de bolas, para molienda húmeda.	17
Figura 1-14. Ventilación actual de laboratorio.	18
Figura 1-15. Salida de emergencia.	18
Figura 2-1. Sistema de ventilación por impulsión.	27
Figura 2-2. Sistema de ventilación por extracción.	27
Figura 2-3. Sistema de ventilación por extracción localizada.	29
Figura 2-4. Campana simple.	31
Figura 2-5. Campana con rendija.	31
Figura 2-6. Cabinas.	31
Figura 2-7. Pabellones.	32
Figura 2-8. Tipos de tapas de registro.	32
Figura 2-9. Forma correcta de las expansiones.	33
Figura 2-10. Forma correcta de las contracciones.	33
Figura 2-11. Forma correcta de los codos.	33
Figura 2-12. Forma correcta de las conexiones.	34

Figura 2-13. Ventilador centrífugo.	36
Figura 2-14. Ventilador axial helicoidal.	36
Figura 3-1. Tren de muestreo para polvos totales.	40
Figura 3-2. Ciclón del tren de muestreo para fracción respirable.	40
Figura 3-3. Bombas GilAir 3.	41
Figura 3-4. Mangueras de conexión.	41
Figura 3-5. Portafiltro.	42
Figura 3-6. Ciclón.	42
Figura 3-7. Burbujometro digital.	42
Figura 3-8. Cyclone Calibration Jar.	43
Figura 3-9. Balanza analítica.	43
Figura 3-10. Calibración tren de muestreo para polvos totales.	44
Figura 3-11. Calibración tren de muestreo para fracción respirable.	44
Figura 3-12. Muestreo ambiental para polvos totales en chancador.	46
Figura 3-13. Muestreo personal para fracción respirable en chancador.	46
Figura 3-14. Muestreo ambiental para polvos totales en molino de bolas.	46
Figura 3-15. Muestreo personal para fracción respirable en molino de bolas.	46
Figura 4-1. Dimensiones de la zona de conminución.	54
Figura 4-2. Propuesta de sistema de ventilación	56
Figura 4-3. Zonas del sistema de ventilación.	57
Figura 4-4. Tamaño abertura molino.	58
Figura 4-5. Tamaño abertura chancador.	58
Figura 4-6. Longitud captación en molino.	58
Figura 4-7. Longitud captación en chancador.	58
Figura 4-8. Largo ducto liso.	59
Figura 4-9. Distancia entre equipos.	59
Figura 4-10. Características codo.	60
Figura 4-11. Características expansión y contracción.	61

Figura 4-12. Velocidades de captación.	62
Figura 4-13. Velocidades de transporte.	63
Figura 4-14. Largo de ductos del sistema.	64
Figura 4-15. Determinación del caudal de captación.	65
Figura 4-16. Presión total de entrada y salida de un ventilador.	66
Figura 4-17. Lay out sistema de ventilación.	68
Figura 4-18. Coeficiente de pérdida de captaciones.	68
Figura 4-19. Factor de pérdida de carga para Codos de 90°.	71
Figura 4-20. Características expansión.	71
Figura 4-21. Factor de pérdida de carga para expansiones.	72
Figura 4-22. Factor de pérdida de carga para contracciones.	74
Figura 4-23. Dimensiones campana cotizada.	78
Figura 4-24. Precio tubo acero galvanizado 5" (Sodimac).	79
Figura 4-25. Precio tubo galvanizado 5" (Easy).	80
Figura 4-26. Precio tubo galvanizado 5" (Construmart).	80
Figura 4-27. Precio tubo corrugado aluminio 5" (Sodimac).	81
Figura 4-28. Precio tubo corrugado 5" (Easy).	82
Figura 4-29. Precio codo galvanizado 5" (Construmart).	83
Figura 4-30. Dimensiones expansión cotizada.	84
Figura 4-31. Modelo SV de SODECA.	85
Figura 4-32. Características técnicas del modelo SV.	86
Figura 4-33. Dimensiones en mm del modelo SV.	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Extracto tabla LPP, Artículo 66, Titulo IV, DS 594/2000	24
Tabla 2-2. Suministro de aire fresco según actividad.	28
Tabla 3-1. Extracto Tabla VIII-3	45

Tabla 3-2. Determinación de caudal promedio para cada tren de muestreo, para posterior muestreo en el Chancador.	48
Tabla 3-3. Determinación de caudal promedio para cada tren de muestreo, para posterior muestreo en el Molino de bolas.	49
Tabla 3-4. Determinación de la concentración de los contaminantes en el Chancador.	49
Tabla 3-5. Determinación de la concentración de los contaminantes en el Molino de bolas.	50
Tabla 3-6. Concentración polvos totales y fracción respirable en el Chancador.	51
Tabla 3-7. Concentración polvos totales y fracción respirable en el Molino.	51
Tabla 4-1. Datos de sistema de ventilación.	64
Tabla 4-2. Factores claves del sistema de ventilación.	85
Tabla 4-3. Resumen costos componentes del sistema.	87

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3-1. Determinación del peso de la muestra	47
Ecuación 3-2. Relación gramo – miligramo	47
Ecuación 3-3. Ecuación de caudal	47
Ecuación 3-4. Relación litro – metro cúbico	47
Ecuación 3-5. Ecuación de concentración.	48
Ecuación 4-1. Relaciones de medidas.	63
Ecuación 4-2. Determinación del caudal de captación.	65
Ecuación 4-3. Principio de continuidad.	67
Ecuación 4-4. Cálculo de P_c .	69
Ecuación 4-5. Ecuación de Colebrook White.	70
Ecuación 4-6. Potencia de un ventilador.	75

Ecuación 4-7. Potencia BHP.	76
Ecuación 4-8. Potencia SHP.	76
Ecuación 4-9. Potencia SHP.	77

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLA

MP10	: Material particulado de diámetro entre 2,5 y 10 micrones.
MP2,5	: Material particulado de diámetro menor o igual a 2,5 micrones.
DS	: Decreto Supremo.
UTFSM	: Universidad Técnica Federico Santa María.
USM	: Universidad Técnica Federico Santa María.
LPP	: Limite permisible ponderado.
LPT	: Limite permisible temporal.
PPM	: Partes por millón.
ISP	: Instituto de Salud Pública.
IPRLA	: Ingeniería en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales.
PVC	: Polyvinyl Chloride, que en español significa Policloruro de vinilo.
&	: Y.
N°	: Número.
%	: Porcentaje.
°	: Grados.
“	: Pulgadas.
Ø	: Diámetro.
Π	: Número Pi (3,14 aproximadamente).

B. SIMBOLOGÍA

mg/m^3	: Miligramos por metro cúbico.
m^3/h	: Metro cúbico por hora.
$(\text{m}^3/\text{h})/\text{persona}$	: Metros cúbicos por hora por persona.
h	: Hora.
μm	: Micrones.
mm	: Milímetros.
g	: Gramos.
mg	: Miligramos:
L/min	: Litros por minutos.
L	: Litros
min	: Minutos.
m^3	: Metro cúbico.
m	: Metro.
m/s	: Metros por segundo.
pie/min	: Pie por minuto.
pie^3/m	: Pie cúbico por metro.
pulg	: Pulgadas.
V	: Velocidad.
R/D	: Relación radio/diámetro del codo.
mmcda	: Milímetros columna de agua.
"cda	: Pulgada columna de agua.
HP	: Horse Power (Caballos de fuerza).
kW	: Kilowatts.

INTRODUCCIÓN

El material particulado se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas que se encuentran suspendidas en la atmósfera, siendo éste uno de los principales contaminantes que se encuentran en ella. Estas partículas se originan desde una gran variedad de fuentes, ya sean naturales o antropogénicas, por lo que tienen distintas características morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas (SUÁREZ, A., & Augusto, C. 2012).

Debido a que estas partículas contienen características diferentes, como en su tamaño, forma y composición, se utiliza un método de clasificación de acuerdo al diámetro aerodinámico que presentan (García, 2002). Según la normativa chilena, distingue las partículas gruesas a aquellas que tienen un diámetro entre 2,5 y 10 micrones, denominadas MP10, y las partículas finas como aquellas que tienen un diámetro menor o igual a 2,5 micrones, nombradas MP2,5, siendo esta última, la más peligrosa para la salud de las personas, ya que las partículas al ser tan pequeñas pueden traspasar las barreras de las vías respiratorias llegando a los alveolos. En el caso del MP10 puede ingresar a las vías respiratorias pero por su tamaño quedan retenidas en las barreras superiores del sistema respiratorio. (Contraloría General de la República, 2011).

La presencia de estas partículas en un ambiente laboral, puede causar distintas enfermedades profesionales, ya que se está expuesto constantemente a estos agentes químicos, manifestándose principalmente por problemas cardiovasculares y respiratorios, como es el asma ocupacional, alergias, neumoconiosis como la silicosis, asbestosis, entre otras. (Yepes, 2013).

Debido a las consecuencias que genera en la salud de las personas el material particulado, es importante controlar y evitar la exposición a este agente. En el Decreto Supremo 594/2000 del Ministerio de Salud, título III, párrafo I, del artículo 32 al 35, se refiere

a la Ventilación que deberían existir en lugares de trabajo, especificando en el artículo 32 lo siguiente: *“Todo lugar de trabajo deberá mantener, por medios naturales o artificiales, una ventilación que contribuya a proporcionar condiciones ambientales confortables y que no causen molestias o perjudiquen la salud del trabajador ”*, por lo que debe existir medidas de control para evitar la exposición a este agente, siendo una de las más eficaces, los sistemas de ventilación con extracción localizada, ya que en el artículo 33 del DS 594/2000 indica lo siguiente: *“Cuando existan agentes definidos de contaminación ambiental que pudieran ser perjudiciales para la salud del trabajador, tales como aerosoles, humos, gases, vapores u otras emanaciones nocivas, se deberá captar los contaminantes desprendidos en su origen e impedir su dispersión por el local de trabajo”* , dado que captura de forma efectiva el contaminante en el punto que se genera, evitando que alcance la zona respiratoria de las personas y que se disperse en el ambiente.

OBJETIVOS

Para desarrollar este trabajo, es importante determinar los objetivos, ya sea el general, que establece el resultado que se desea alcanzar y los específicos que definen el cómo se va a lograr, por lo tanto, los objetivos de este trabajo, son los siguientes:

OBJETIVO GENERAL

Evaluar técnica y económicamente un sistema de ventilación en el sector de conminución del laboratorio de minería y metalurgia de la universidad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Detallar antecedentes generales del sector de conminución del laboratorio de minería y metalurgia de la sede Viña del Mar de la UTFSM.
- Definir marco legal y teórico relacionado a la exposición de material particulado.
- Proponer diseño de sistema de ventilación, evaluando costos asociados para su posible implementación en el laboratorio de minería y metalurgia.

FUNDAMENTACIÓN

En el laboratorio de minería y metalurgia de la universidad, específicamente en el área de conminución, hay un chancador y dos molinos que generan material particulado, el cual resulta dañino para la salud, dependiendo de distintos factores, como el tiempo de exposición y la concentración del agente. Estos equipos tienen como función disminuir el tamaño del material requerido para procesos posteriores, mediante la utilización de un chancador de mandíbula para el proceso de chancado, el cual trabaja con partículas de mayor diámetro, y los molinos para el proceso de molienda, que opera con partículas de menor tamaño. Debido a que estos equipos al funcionar y al vaciar el material ya triturado, las partículas finas se dispersan por el laboratorio, quedando suspendidas y alcanzando las vías respiratorias de los estudiantes y de los profesores. Cabe destacar que solo existe ventilación natural la que no es efectiva para eliminar completamente el contaminante que está presente en esa área. Por lo tanto, es necesario evaluar la situación de tal forma de proponer un sistema de ventilación adecuado para controlar el estado de suspensión de las partículas, disminuyendo el riesgo higiénico presente por el contacto con este agente químico.

ALCANCE

Este trabajo está dirigido al cuidado y la protección de la salud de los estudiantes y profesores que trabajan en el laboratorio de minería y metalurgia, de la carrera de Técnico Universitario en Minería y Metalurgia situado en la Sede Viña del Mar de la Universidad Técnico Federico Santa María. Este laboratorio se divide en seis áreas, siendo las siguientes:

1. Oficina de la encargada del laboratorio.
2. Bodega de insumos del laboratorio.
3. Bodega de material de laboratorio.
4. Bodega de tamices y tamizadoras.
5. Salón de experiencias.
6. Área de conminución.

Siendo el sector de interés para este trabajo, específicamente el área de conminución, ya que es allí en donde se genera la mayor cantidad de material particulado y donde se realizará el muestreo.

METODOLOGÍA

En este estudio se evaluará técnica y económicamente un sistema de ventilación para su posible instalación en el laboratorio de minería y metalurgia, debido a que existe la presencia de material particulado, el cual como se mencionó es dañino para la salud de las personas. Por lo que la metodología de este trabajo para llevarlo a cabo será, recopilar la información necesaria sobre el sector de conminución, identificando los equipos que emiten material particulado y evaluando la situación actual del laboratorio en relación al particulado en suspensión, mediante toma de muestras del material en el área de interés, utilizando bomba de muestreo, con el fin de determinar si existe riesgo higiénico, según los límites permisibles ponderados indicados el artículo 66 del Decreto Supremo 594/2000 del Ministerio de Salud, para diseñar un sistema de ventilación apto para las condiciones presentes en el laboratorio de la universidad, y posteriormente evaluar los costos de su implementación.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES DEL LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGIA

1. ANTECEDENTES GENERALES DEL LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGIA

En este capítulo se presentarán los antecedentes generales del laboratorio, detallando los equipos que se encuentran en el área de conminución, dando énfasis a aquellos que emiten material particulado cuando se encuentran en funcionamiento, y la situación actual con respecto a la ventilación.

1.1 ASPECTOS GENERALES

La Universidad Técnica Federico Santa María se caracteriza por ser una institución educativa de prestigio, referente científico-tecnológico a nivel nacional e internacional, la cual convoca a una comunidad universitaria de excelencia, tratando de estimular la difusión de conocimientos y la creación de valor, reconocida como líder en ingeniería, ciencia y tecnología.

Esta institución consta con su Casa Central ubicada en la ciudad de Valparaíso, siendo este campus reconocido aún más por su sorprendente infraestructura, como se muestra en la figura 1-1. La Universidad cuenta con otros Campus y Sedes, como lo son:

- Campus en Santiago de San Joaquín.
- Campus en Santiago de Vitacura.
- Sede Concepción.
- Sede Viña del Mar.



Fuente: Sistema de Bibliotecas USM.

Figura 1-1. Frontis de Casa Central de la UTFSM.

En la década de los sesenta, la universidad postuló a un plan de expansión, por lo que con asistencia financiera y colaboración de otras instituciones en 1971 se construyó y equipó la Sede Viña del Mar José Miguel Carrera (figura 1-2), ubicada en la Avenida Federico Santa María N° 6090, en el límite entre Viña del Mar y Quilpué. Esta Sede está compuesta por una serie de unidades académicas, las cuales son las siguientes:

- Departamento de Ciencias.
- Departamento de Construcción y Prevención De Riesgos.
- Departamento de Diseño y Manufactura.
- Departamento de Electrotecnia e Informática.
- Departamento de Mecánica.
- Departamento de Química y Medio Ambiente.



Fuente: Sistema de Bibliotecas Usm.

Figura 1-2. Costado de Sede Viña del Mar Jose Miguel Carrera de la UTFSM.

La sede dispone de programas diurnos compuestos por tres carreras de Ingenierías y diecisiete de Técnicos Universitarios, además de planes vespertinos donde se dictan siete Ingenierías, perteneciendo cada uno de ellas a los departamentos respectivos.

Una de las carreras impartidas en la Sede de Viña del Mar, es la de Técnico Universitario en Minería y Metalurgia que tiene una duración de 2,5 años. Los estudiantes de esta carrera poseen una formación enfocada a las actividades mineras y metalúrgicas. El plan de estudios, en su segundo semestre, contempla actividades en donde se estudian los métodos de preparación mecánica de minerales; que consiste primordialmente, en el análisis de los mecanismos y equipos que se utilizan para la reducción del tamaño de las rocas con el objetivo de liberar las especies minerales de interés económico (Lozada, s.f). Para llevar a cabo la parte práctica de esta asignatura se trabaja en el Laboratorio de Minería y Metalurgia con los equipos de conminución disponibles.

1.2 LABORATORIO DE MINERÍA Y METALURGIA

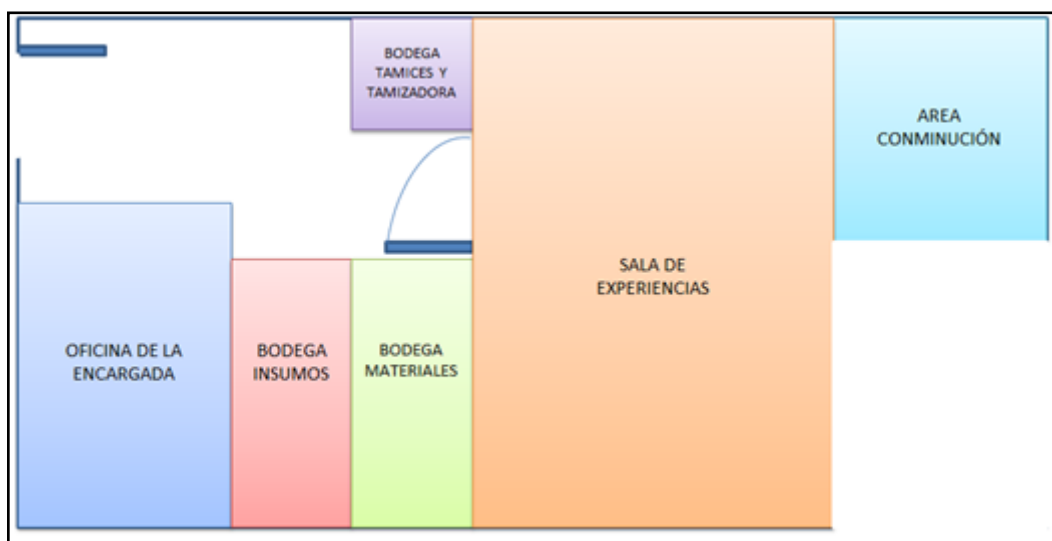
Como se mencionó anteriormente, el laboratorio de minería y metalurgia, es parte de la carrera de Técnico Universitario en Minería y Metalurgia. Este laboratorio que se muestra en la figura 1-3, se utiliza a lo largo de toda la carrera, para realizar los procedimientos prácticos de las asignaturas relacionadas directamente al técnico, como es la preparación mecánica de minerales, concentración de minerales, procesos metalúrgicos, entre otras disciplinas.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 1-3. Laboratorio de minería y metalurgia.

Al interior del laboratorio se encuentran seis dependencias, la cuales tienen distintas funciones, que corresponden a la oficina de la encargada del laboratorio, la bodega de insumos del laboratorio, la bodega de material de laboratorio, la bodega de tamices y tamizadoras, el salón de experiencias y por último el área de conminución (figura 1-4).



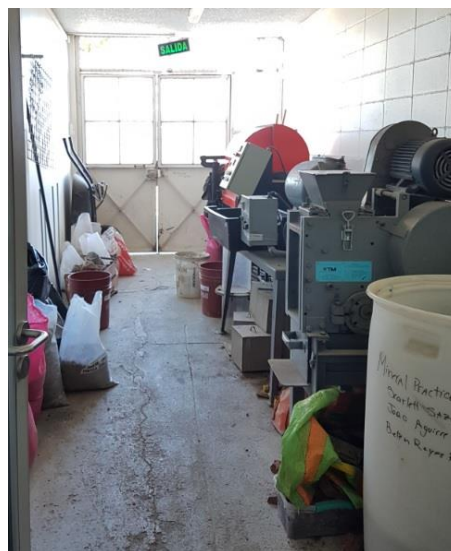
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-4. Lay out del laboratorio de minería y metalurgia.

El presente estudio, se centrará en el área de conminución (figura 1-5 y 1-6), ya que en esta zona existen equipos los cuales emiten partículas en suspensión al momento de operar y cuando se vacía el material ya conminuido.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 1-5. Ingreso área de conminución.

Figura 1-6. Área de conminución.

Estos equipos se utilizan constantemente, en los prácticos realizados por cada disciplina, que en el caso de la asignatura de preparación mecánica de minerales, se llevan a cabo en los siguientes horarios:

- Martes de 16:20 a 18:35 horas.
- Jueves de 08:45 a 11:10 horas.
- Viernes de 10:25 a 12:50 horas.

1.2.1 Equipos que emiten material particulado

Dentro de la zona de conminución existen dos categorías de equipos, que ayudan a los estudiantes y profesores llevar a cabo las actividades prácticas relacionadas.

1.2.1.1 Chancador de mandíbula

El chancador de mandíbulas presente en el laboratorio (figura 1-7), es un equipo de conminución muy utilizado, ya que puede recibir grandes volúmenes de mineral. Se caracteriza principalmente porque posee dos placas en su interior, zona en que se introduce el material (figura 1-8). Una de estas placas es fija y la otra es móvil formando un ángulo agudo entre ellas, las cuales al hacer funcionar el equipo, la placa móvil se abre y se cierra, generando la trituración de las rocas. Este equipo se debe trabajar con la tapa abierta para alimentar constantemente con el material a triturar, por lo que este es el primer punto donde se genera la emisión de material particulado.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 1-7. Chancador de mandíbula del laboratorio.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 1-8. Zona donde se introduce el material.

Este chancador posee un sistema de cambio en el ángulo de salida que existe entre las placas, por lo que puede entregar partículas gruesas y muy finas, siendo estas últimas las más perjudiciales para la salud. Además este equipo contiene una zona de almacenamiento (figura 1-9), donde queda depositado el mineral ya triturado, que al momento de abrirla y trasvasiar el material a otro contenedor es donde se genera el segundo punto de emisión de partículas.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 1-9. Recipiente de almacenamiento de material conminuido.

1.2.1.2 Molino de bolas

Este equipo corresponde a una conminución secundaria, ya que el mineral que ingresa a este, es el producto del proceso de chancado anterior. Los molinos se utilizan cuando se requieren granulometrías pequeñas para los procesos posteriores de concentración de minerales de interés.

El laboratorio consta de un molino de bolas (figura 1-10), el cual trabaja en su interior con una serie de bolas metálicas de distintos diámetros, el que durante su funcionamiento gira en su propio eje, con lo que se produce la trituración del mineral.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 1-10. Molino de bolas.

En el funcionamiento del molino existen dos momentos en los que se genera material particulado, el primero ocurre cuando se vierten las partículas provenientes del chancado, por la zona de alimentación de este equipo (figura 1-11), y el segundo es cuando se termina su ciclo de funcionamiento y se vierte el material conminuido en la rejilla del molino (figura 1-12), quedando depositadas en la parte superior de la rejilla las bolas, ya que cumple la función de un tamiz, y en la parte inferior el material conminuido, además la rejilla con las bolas, se deben mover para que caiga todo el mineral posible a la parte inferior, emitiéndose material particulado fino.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 1-11. Zona de alimentación del molino de bolas.

Figura 1-12. Rejilla molino de bolas.

1.2.1.3 Molino de bolas para molienda húmeda

El molino de bolas (figura 1-13), tiene las mismas características de funcionamiento que el equipo descrito anteriormente, pero se diferencia en que las partículas que ingresan para ser conminuidas son humectadas con agua, por lo que la emisión de material particulado al verter el mineral es mucho menor.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 1-13. Molino de bolas, para molienda húmeda.

1.2.2 Sistema de ventilación actual

Los sistemas de ventilación son muy importantes para el control de algunos contaminantes, como es el caso del material particulado, ya que al ser material muy pequeño puede ocasionar graves problemas en la salud de las personas. En el caso del laboratorio, se puede observar en la figura 1-14, que dispone solo de ventilación natural, por medio de rejillas sin vidrio, destacadas en dicha imagen, sistema que no es efectivo, dado que el material se mantiene suspendido en el área, por lo tanto no es muy efectivo al momento de extraer este agente.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 1-14. Ventilación actual de laboratorio.

Además cuenta con una salida de emergencia, que corresponde a dos puertas que se abren hacia afuera, las cuales contienen cuatro ventanas cada una, con vidrio y con protección de rejillas, como se muestra y destaca en la figura 1-15, estas podrían ser utilizadas para mejorar la ventilación existente, pero se mantienen cerradas al momento de trabajar en esta área.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 1-15. Salida de emergencia.

CAPÍTULO 2: MARCO LEGAL Y TEÓRICO RELACIONADO A LA EXPOSICIÓN DE MATERIAL
PARTICULADO

2. MARCO LEGAL Y TEÓRICO RELACIONADO A LA EXPOSICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO

En este capítulo, se definirá el marco legal a nivel nacional e institucional que norma la exposición a agentes contaminantes, que en este caso es el material particulado, con el fin de proteger la vida y la salud de los trabajadores y estudiantes. Además se detallarán los sistemas de ventilación como marco teórico de este estudio, ya que será la medida de control propuesta.

2.1 MARCO LEGAL

En este ítem se detallaran los artículos de la normativa que está relacionada a la exposición de material particulado, a nivel nacional cuando se trata de las condiciones que involucren la salud de los trabajadores en el ambiente laboral, y a nivel institucional, específicamente de la Universidad Técnica Federico Santa María, ya que este trabajo se efectuará en un laboratorio perteneciente a esta, por lo tanto se definirá la normativa y políticas que existen con respecto al cuidado de la salud de los estudiantes y profesores.

2.1.1 Normativa nacional

- Constitución Política de la República de Chile, la cual especifica en el artículo 19, número 8: “El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Es deber del estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza. La ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente”, por lo tanto es relevante controlar las emanaciones de agentes químicos al ambiente para cumplir con lo establecido en la constitución.

- Código del Trabajo, se especifica en el libro III “De la protección a los trabajadores”, en el artículo 184 que: “El empleador estará obligado a tomar todas las medidas necesarias para proteger eficazmente la vida y salud de los trabajadores, informando de los posibles riesgos y manteniendo las condiciones adecuadas de higiene y seguridad en las faenas, como también los implementos necesarios para prevenir accidentes y enfermedades profesionales”. Según este artículo se deben controlar las emisiones contaminantes, o agentes físico que estarán expuestos los trabajadores.
- Ley 16.744/68 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social; Subsecretaría de Previsión Social, que establece Normas Sobre Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales, por lo que esta ley es un seguro social obligatorio para todos los trabajadores, que tiene como objetivo:
 - Prevenir que ocurran accidentes o que el trabajador contraiga alguna enfermedad profesional.
 - Otorgar atención médica, para restituir al trabajador en lo posible, en toda su capacidad de trabajo.
 - Otorgar prestaciones económicas, para reparar la pérdida de la capacidad de ganancia del trabajador.
 - Rehabilitar al trabajador para devolver en todo o en parte sus capacidades de ganancia.
 - Reeducar al afectado para darle posibilidades de desempeñar un nuevo oficio o profesión.
- Decreto Supremo 594/2000 del Ministerio de Salud, que aprueba Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, del cual se pueden extraer los siguientes artículos:

TITULO III: De las Condiciones Ambientales:

- “Artículo 32”: Todo lugar de trabajo deberá mantener, por medios naturales o artificiales, una ventilación que contribuya a proporcionar condiciones ambientales confortables y que no causen molestias o perjudiquen la salud del trabajador.
- “Artículo 33”: Cuando existan agentes definidos de contaminación ambiental que pudieran ser perjudiciales para la salud del trabajador, tales como aerosoles, humos, gases, vapores u otras emanaciones nocivas, se deberá captar los contaminantes desprendidos en su origen e impedir su dispersión por el local de trabajo. Con todo, cualquiera sea el procedimiento de ventilación empleado se deberá evitar que la concentración ambiental de tales contaminantes dentro del recinto de trabajo exceda los límites permisibles vigentes.
- “Artículo 34”: Los locales de trabajo se diseñarán de forma que por cada trabajador se provea un volumen de 10 metros cúbicos, como mínimo, salvo que se justifique una renovación adecuada del aire por medios mecánicos. En este caso deberán recibir aire fresco y limpio a razón de 20 metros cúbicos por hora y por persona o una cantidad tan que provea 6 cambios por hora, como mínimo, pudiéndose alcanzar hasta los 60 cambios por hora, según sean las condiciones ambientales existentes, o en razón de la magnitud de la concentración de los contaminantes.
- “Artículo 35”: Los sistemas de ventilación empleados deberán proveer aberturas convenientemente distribuidas que permitan la entrada de aire fresco en reemplazo del extraído. La circulación del aire estará condicionada de tal modo que en las áreas ocupadas por los trabajadores la velocidad no exceda de un metro por segundo.
- “Artículo 53”: El empleador deberá proporcionar a sus trabajadores, libres de todo costo y cualquiera sea la función de estos desempeñen en la empresa, los elementos de protección personal que cumplan con los requisitos, características y tipos de que exige el riesgo a cubrir y la capacitación teórica y práctica necesaria para su correcto empleo debido, además, mantenerlos en perfecto estado de funcionamiento. Por su parte el trabajador deberá usarlos en forma permanente mientras se encuentre expuesto al riesgo.

TITULO IV: De la Contaminación Ambiental:

- “Artículo 55”: Los límites permisibles de aquellos agentes químicos y físicos capaces de provocar efectos adversos en el trabajador serán, en todo lugar de trabajo, los que resulten de la aplicación de los artículos siguientes. Los límites de tolerancia biológica así como los límites permisibles para agentes químicos y físicos deberán ser revisados cada 5 años.
- “Artículo 57”: En el caso en que una medición representativa de las concentraciones de sustancias contaminantes existentes en el ambiente de trabajo o de la exposición a agentes físicos, demuestre que han sido sobrepasados los valores que se establecen como límites permisibles, el empleador deberá iniciar de inmediato las acciones necesarias para controlar el riesgo en su origen. Si no es factible implementar la o las medidas preventivas en su totalidad, el empleador deberá proteger al trabajador del riesgo residual entregándole la protección personal de acuerdo a lo establecido en el artículo 53 del presente reglamento. En cualquier caso, el empleado será responsable de evitar que los trabajadores realicen su trabajo en condiciones de riesgo para su salud.
- “Artículo 58 bis”: Toda actividad que implique corte, desbaste, torneado, pulido, perforación, tallado y, en general, fracturamiento de materiales, productos o elementos que contengan sílice, deberá realizarse aplicando humedad a la operación u otro método de control si no es factible la humectación.
- “Artículo 59”: Para los efectos de este reglamento se entenderá por:
 - Límite Permisible Ponderado: Valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos existente en los lugares de trabajo durante la jornada normal de 8 horas diarias, con un total de 45 horas semanales.
 - Límite Permisible Temporal: Valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos en los lugares de trabajo, medidas en un período de 15 minutos continuos

dentro de la jornada de trabajo. Este límite no podrá ser excedido en ningún momento de la jornada.

- Límite Permisible Absoluto: Valor máximo permitido para las concentraciones ambientales de contaminantes químicos medida en cualquier momento de la jornada de trabajo.
- “Artículo 60”: El promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos no deberá superar los límites permisibles ponderados (LPP) establecidos en el artículo 66 del presente reglamento. Se podrán exceder momentáneamente estos límites, pero en ningún caso superar cinco veces su valor. Con todo, respecto a aquellas sustancias para las cuales se establece además un límite permisible temporal (LPT), tales excesos no podrán superar estos límites. Tanto los excesos de los límites permisibles ponderados, como la exposición a límites permisibles temporales, no podrán repetirse más de cuatro veces en la jornada diaria, ni más de una vez en una hora.
- “Artículo 66”: Los límites permisibles ponderados y temporales para las concentraciones ambientales de las sustancias que se indican, serán los siguientes (tabla 2-1):

Tabla 2-1. Extracto tabla LPP, Artículo 66, Título IV, DS 594/2000

SUSTANCIA	LÍMITE PERMISIBLE PONDERADO		LÍMITE PERMISIBLE TEMPORAL		OBSERVACIONES
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
Plomo Tetraetilo (Expresado Como Pb)		0,09			Piel – A.4. piel
Plomo Tetrametilico (Expresado Como Pb)		0,13			
Polvo De Granos (Cereales)		3,5			
Polvos No Especificados (Total)		8			(3)
Polvos No Especificados (Fracción Respirable)		2,4			(4)
Selenio Y Comp.		0,18			
Sevoflurano			2	16,36	

Fuente: Decreto Supremo 594/2000 Ministerio de Salud.

- Decreto Supremo 40/1969 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social; Subsecretaría de Previsión Social, que aprueba Reglamento Sobre Prevención de Riesgos Profesionales, ya que norma la correcta aplicación del título VII de la Ley 16.744 y el artículo 184 del Código del Trabajo.
- Decreto Supremo 54/1969 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, que aprueba Reglamento Para la Constitución y Funcionamiento de los Comités Paritarios de Higiene y Seguridad.

2.1.2 Normativa institucional

A nivel institucional, la Universidad Técnica Federico Santa María, cuenta con:

- Reglamento Interno de Orden, Higiene y Seguridad, por lo que cumple con lo dictado en el “artículo 67” de la Ley 16.744 sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales y el reglamento sobre prevención de riesgos. Además de este documento se pueden destacar el “artículo 123” el cual indica que: “la universidad proporcionará a los trabajadores condiciones seguras de trabajo e higiene, los elementos de protección personal adecuados y la capacitación y adiestramiento suficientes para lograr los objetivos que indican los programas de seguridad”, el “artículo 134” indicando que: “de acuerdo a las disposiciones legales vigentes, la empresa está obligada a proteger a todo su personal de los riesgos del trabajo, entregándosele al trabajador cuya labor lo requiera, sin costo alguno, pero de su cargo y responsabilidad, los elementos de protección personal”.
- Estatuto de Derechos y Deberes de los alumnos, específicamente de la Sede Viña del Mar “José Miguel Carrera”, del cual se puede destacar el “artículo 3” del Título I “Derechos de los alumnos” indicando: “la más amplia y eficiente protección de su integridad física e intelectual en los recintos de la Universidad, en actos oficiales externos y cuando cumpla cargos en representación de la Universidad”.

2.2 SISTEMAS DE VENTILACIÓN

En los procesos industriales existen una serie de operaciones y procesos, que generan la presencia de agentes físicos, químicos y/o biológicos, en el ambiente que pueden producir lesiones en las personas.

Entre las medidas de control para la eliminación o disminución del riesgo higiénico presente, se tienen las siguientes:

- Aquellas aplicadas directamente en la fuente de generación.
- Aquellas aplicadas en el medio en que se dispersa el contaminante.
- Aquellos controles individuales sobre el trabajador.

La ventilación es una medida preventiva de control, ya que consiste en suministrar o remover el aire por medios naturales o mecánicos, hacia o desde un área determinada. Por lo tanto para mantener una efectiva ventilación, es necesario:

- Determinar el objetivo, ya sea para controles de ambientes térmicos, ambientes explosivos, eliminar o diluir agentes tóxicos.
- Determinar el flujo de aire requerido para cumplir con el objetivo propuesto.
- Establecer la adecuada velocidad de circulación de flujo de aire.
- Mantener las condiciones ambientales de confort y bienestar.

Por ello, los sistemas de ventilación tienen como objetivo, retirar o diluir el aire contaminado y renovarlo por aire limpio, ya sea por medios naturales o mecánicos, para mantener la concentración de los agentes bajo los límites permitidos, por lo que se pueden dividir en:

- **Sistemas de impulsión:** En estos el aire ingresa al área a ventilar, con la finalidad de acondicionar el aire manteniendo un ambiente confortable y también para sustituir el aire que ha sido extraído (figura 2-1):



Fuente: <https://neetescuela.org/ventilacion-maneras-de-ventilar/>

Figura 2-1. Sistema de ventilación por impulsión.

- **Sistemas de extracción:** Se utilizan para retirar los contaminantes, con el objetivo de mantener un ambiente laboral saludable (figura 2-2):



Fuente: <https://www.mundohvacr.com.mx/2010/05/funciones-de-la-ventilacion/>

Figura 2-2. Sistema de ventilación por extracción.

2.2.1 Ventilación general

Suministro y/o extracción de aire desde o hacia un área, ya sea por medios naturales o mecánicos, con el objetivo de mantener las condiciones ambientales óptimas para mantener el bienestar de los trabajadores. Este sistema es menos eficaz comparado

con el sistema de extracción localizada, específicamente en el control de los contaminantes. Según el objetivo del sistema general, se puede clasificar en:

- Ventilación por dilución: Tiene como objetivo mantener los niveles de exposición dentro de lo aceptable en relación a la concentración de los contaminantes, en el control específicamente de atmósferas inflamables, olores y aire viciado.
- Ventilación de control térmico: Control de las condiciones térmicas del ambiente asociado a industrias calurosas.

Como se mencionó anteriormente, la ventilación general puede ser natural, la cual es generada por movimientos naturales del aire; y mecánica, que se genera por movimientos de aire con ayuda mecánica, ya sea por depresión cuando se retira el aire contaminado del interior al exterior, o por sobrepresión cuando ingresa aire limpio desde el exterior al interior.

Además la ventilación debe proporcionar un estado de confort en los trabajadores, por lo mismo se debe considerar lo siguiente:

1. Suministro de aire fresco: Se debe considerar el caudal de aire que debe ingresar a la zona de acuerdo a la actividad que se está realizando, como se especifica en la tabla 2-2:

Tabla 2-2. Suministro de aire fresco según actividad.

ACTIVIDAD	CAUDAL AIRE (m ³ /h)/persona
En reposo o sentado	0,29
Trabajo tipo medio	0,57
Trabajo pesado	0,86

Fuente: Material académico de la asignatura de Ventilación Industrial, IPRLA, UTFSM Sede Viña del Mar.

2. Renovaciones de aire: Esto se encuentra definido por la relación entre el caudal de aire y el volumen del recinto de trabajo. Este concepto se utiliza principalmente en sistemas donde el propósito es controlar la humedad, humos, temperaturas y olores. Como se mencionó anteriormente, el DS 594/2000 del Ministerio de Salud, se deben suministrar 10 metros cúbicos por hora, por persona, como mínimo, salvo que se justifique una renovación adecuada del aire por medios mecánicos que en este caso deberán recibir aire fresco y limpio a razón de 20 metros cúbicos por hora y por persona o una cantidad tan que provea 6 cambios por hora, como mínimo, pudiéndose alcanzar hasta los 60 cambios por hora.

2.2.2 Ventilación por extracción localizada

Este sistema se caracteriza por capturar el contaminante en el punto de emisión. Su utilización es recomendable para contaminantes tóxicos y/o en altas concentraciones, ya que este ingresa al sistema antes de que alcance la zona respiratoria del trabajador, o de que se disperse por el ambiente. Bajo las mismas condiciones, el caudal de aire que se extrae mediante este sistema es menor que el aire requerido en un sistema de ventilación general, por lo tanto se requiere menor potencia en el ventilador. Además permite proteger las instalaciones de los efectos deteriorantes de los contaminantes y mantener aseo en el lugar de trabajo (figura 2-3).



Fuente: <https://www.ediclima.es/nuestros-servicios-de-climatizacion/instalaciones-de-sistemas-de-ventilacion/>

Figura 2-3. Sistema de ventilación por extracción localizada.

Un sistema de extracción localizada está compuesto por una serie de accesorios como:

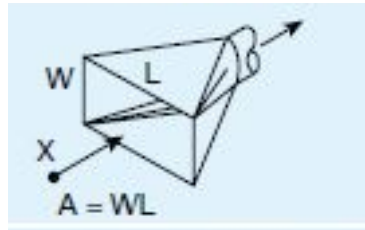
- Campanas o captaciones:

Corresponde al punto por el cual ingresa el aire contaminado al sistema de ventilación, su principal función es recoger eficazmente el contaminante en el punto de generación e ingresarlo al interior del sistema. Para la elección correcta de la campana es importante considerar los siguientes factores:

- Forma, dimensión, tipo de material y ubicación.
- Velocidad adecuada de captura.
- Movimientos de aire circundantes.

Existe una amplia variedad de diseños de captaciones y pueden ser clasificadas de diferentes formas:

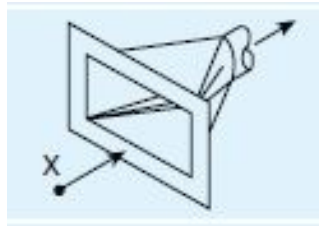
- De acuerdo al tipo de encerramiento:
 - Cabinas: Son aquellas que encierran parcial o totalmente el punto de emisión.
 - Exterior: Situadas en las cercanías del punto de emisión sin encerrarlos.
- De acuerdo a su geometría:
 - Campanas simples: La relación ancho/largo es mayor a 0,2, pueden ser redondas o rectangulares, su velocidad de captura dependerá de la distancia a la que se encuentra del punto de emisión. Son útiles en capturas ascendentes, descendentes y lateral (figura 2-4).



Fuente: <https://app.emaze.com/@ACIRQLTW/ventiladores#22>

Figura 2-4. Campana simple.

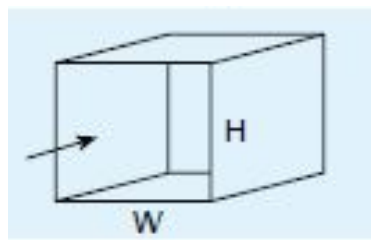
- Campana con rendija: Son campanas tipo compuestas, con relación ancho/largo menor a 0,2, se caracterizan por estar conformadas por rendijas, estas ranuras tienen como finalidad aumentar la velocidad de captura y obtener una distribución de aire uniforme por la cara de la captación. Son más efectivos en sistema de extracción lateral (figura 2-5).



Fuente: <https://app.emaze.com/@ACIRQLTW/ventiladores#22>

Figura 2-5. Campana con rendija.

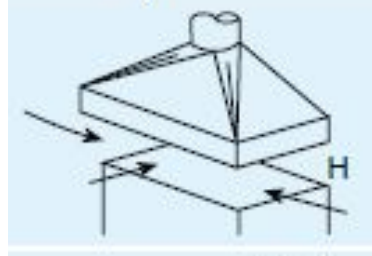
- Cabinas: Son aquellas que encierran total o parcialmente el punto de emisión. Son más afectivas ya que evitan las turbulencias de aire (figura 2-6).



Fuente: <https://app.emaze.com/@ACIRQLTW/ventiladores#22>

Figura 2-6. Cabinas.

- Pabellones: Permiten cubrir la fuente emisora en todo su perímetro, son recomendables cuando existen movimientos de aire (figura 2-7).



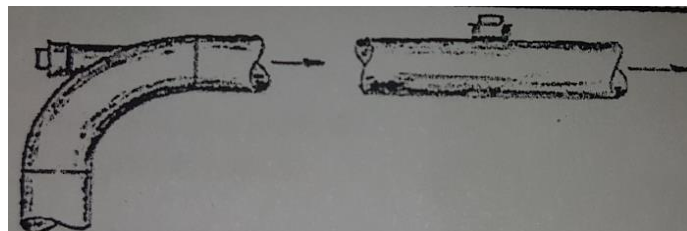
Fuente: <https://app.emaze.com/@ACIRQLTW/ventiladores#22>

Figura 2-7. Pabellones.

- Ductos y accesorios:

Aquellos accesorios que conectan los componentes de un sistema, conduciendo a través de ellos los contaminantes. Es importante tener en consideración que las uniones deben ser herméticas, en la selección de estos se debe tener en cuenta las características de los contaminantes, se debe mantener una adecuada velocidad en el interior. Pueden ser ductos y accesorios los siguientes componentes:

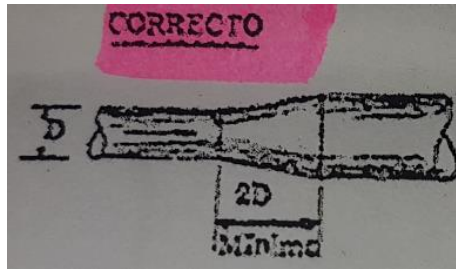
- Tapas de registros (figura 2-8):



Fuente: Material académico de la asignatura de Ventilación Industrial, IPRLA, UTFSM Sede Viña del Mar.

Figura 2-8. Tipos de tapas de registro.

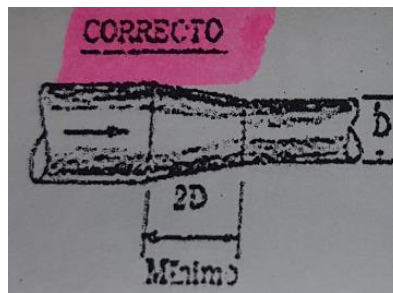
- Expansiones (figura 2-9):



Fuente: Material académico de la asignatura de Ventilación Industrial, IPRLA, UTFSM Sede Viña del Mar.

Figura 2-9. Forma correcta de las expansiones.

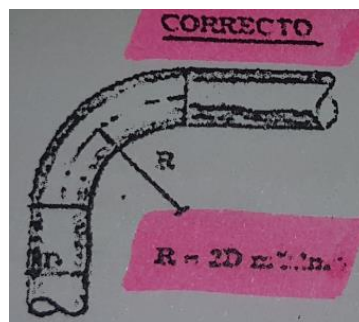
- Contracciones (figura 2-10):



Fuente: Material académico de la asignatura de Ventilación Industrial, IPRLA, UTFSM Sede Viña del Mar.

Figura 2-10. Forma correcta de las contracciones.

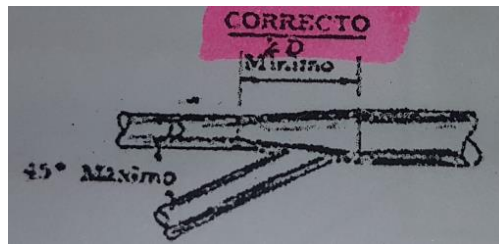
- Codos (figura 2-11):



Fuente: Material académico de la asignatura de Ventilación Industrial, IPRLA, UTFSM Sede Viña del Mar.

Figura 2-11. Forma correcta de los codos.

- Conexiones (figura 2-12):



Fuente: Material académico de la asignatura de Ventilación Industrial, IPRLA, UTFSM Sede Viña del Mar.

Figura 2-12. Forma correcta de las conexiones.

- Colectores (retenedores, separadores, depuradores):

Son aquellos elementos utilizados para retener el contaminante, cumplir con los límites ambientales, recuperar el contaminante y proteger el ventilador y otros accesorios. Se caracterizan por ser de material resistente a la acción del contaminante, algunos tipos de colectores para material particulado son:

- Separadores por gravedad: Se utilizan para material particulado de gran tamaño ($200\ \mu\text{m}$), el cual permite una separación previa a una depuración más fina, ya que las partículas se separan por efecto de la gravedad al ingresar a una cámara de gran volumen.
- Cámaras inerciales: Su mecanismo de separación es similar a los separadores por gravedad, con la diferencia que al interior de la cámara hay pantallas deflectoras con las cuales chocan las partículas. Este equipo retiene partículas entre 50 y $150\ \mu\text{m}$.
- Ciclón: Retienen partículas de diámetro mayor a $5\ \mu\text{m}$ y se caracterizan por requerir poca mantención. El principio de funcionamiento se basa en la separación de las partículas mediante la fuerza centrífuga.

- Equipos de filtración: Son aquellos conformados por elementos filtrantes, ya sea placas, tubos (mangas) o láminas que generalmente son de papel, tela, propileno o poliéster. El tamaño del poro de la manga dependerá del tamaño de la partícula que se desea filtrar.
- Precipitadores electrostáticos: Se caracterizan por ser muy eficientes en la captación de aerosoles sólidos o líquidos. Su funcionamiento se basa en un campo eléctrico de alto voltaje, que se genera entre los electrodos de descarga y el de colección, los cuales tienen polaridad opuesta. Por lo que el particulado es atraído por las placas colectoras quedando retenidas.
- Colectores húmedos o lavadores: Pueden ser separadores inerciales húmedos, ciclones húmedos, torres de lavado, torres de relleno, separadores de tobera sumergida y separadores Venturi.
- Ventiladores:

Son máquinas rotativas que aportan la energía necesaria para mover el fluido de un punto a otro, al atender a la trayectoria del fluido se clasifican en dos tipos:

- Centrífugos: Se caracteriza porque el fluido al ingresar a la máquina circula entre los alabes hacia el exterior a causa de la fuerza centrífuga, la trayectoria del fluido a la entrada sigue la dirección del eje del rodete y sale de forma perpendicular a ella. Es recomendable su uso en sistemas de ventilación local para mover bajos caudales (figura 2-13).



Fuente: <https://www.airtecnicos.com/es/productos/ventilador-centrifugo-drae-drad-auto>

Figura 2-13. Ventilador centrifugo.

- Axial: El flujo del aire ingresa y sale en la misma dirección, son apropiados en impulsión o aspiración de grandes caudales (figura 2-14). Existen 3 tipos:



Fuente: <https://www.solerpalau.com/es-cl/ventiladores-helicoidales-tubulares/>

Figura 2-14. Ventilador axial helicoidal.

- Helicoidales: Se caracterizan por vencer bajas perdidas de carga, menores a 25 mmcda, por lo que su aplicación más común es en ventilación general.
- Tubos axiales: Formado por hélice de alabes estrechos y vencen moderas resistencias, entre 25 a 50 mmcda, por lo que se aplica frecuentemente en túneles y galerías.

- Axiales con directrices: Compuesto por hélice con alabes de perfil aerodinámico, se caracterizan por ser más eficientes y vencer altas resistencias, de 50 a 200 mmcda, por lo que su uso está restringido para aire con particulado.

CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO EN EL
LABORATORIO

3. DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO EN EL LABORATORIO

En este capítulo se realizará la evaluación de la exposición a material particulado, para determinar si existe riesgo higiénico en el laboratorio. Por lo tanto se detallarán los materiales y métodos utilizados en los muestreos, y los resultados obtenidos con sus respectivos análisis.

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo, se detallaran los materiales y el método utilizado para llevar a cabo el muestreo de material particulado, concluyendo con el análisis de los resultados obtenidos.

3.1.1 Materiales

Para determinar si las personas que desarrollan sus actividades en el laboratorio, se encuentran expuestas a riesgo higiénico por la constantes emisiones de material particulado, se deben realizar tomas de muestras de este agente emitida por el chancador de mandíbula y en el molino de bolas, con el tren de muestreo, este se encuentra compuesto por una bomba de aspiración, la manguera de conexión y el cabezal de muestreo, que en el caso de la medición de polvos totales será un portafiltros (figura 3-1), y para la medición de la fracción respirable, un ciclón (figura 3-2).



Fuente: Laboratorio de Prevención de Riesgos, UTFSM, Viña del Mar.



Fuente: Laboratorio de Prevención de Riesgos, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-1. Tren de muestreo para polvos totales.

Figura 3-2. Tren de muestreo para fracción respirable.

Los materiales utilizados en todos los muestreos realizados, fueron los siguientes:

- Bombas GilAir 3: Es una bomba de muestreo de aire de caudal constante, apta para alto y bajo caudal.



Fuente: Laboratorio de Prevención de Riesgos, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-3. Bombas GilAir 3.

- Mangueras de conexión: Instrumento que sirve para unir la bomba de muestreo al cabezal de muestreo.



Fuente: Laboratorio de Prevención de Riesgos, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-4. Mangueras de conexión.

- Portafiltros: Es un medio de retención para el muestreo de polvos minerales, humos o polvos metálicos, polvos orgánicos y fibras de asbesto. Los portafiltros son de plástico transparente, y están formados por un filtro de membrana que puede ser de PVC.



Fuente: Laboratorio de Prevención de Riesgos, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-5. Portafiltro.

- **Ciclón:** Cabezal de muestreo que permite separar el polvo total suspendido en el aire de la fracción respirable, la cual queda retenida en el filtro.



Fuente: Laboratorio de Prevención de Riesgos, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-6. Ciclón.

- **Calibrador digital Gilibrator 2 (Burbujómetro digital):** Equipo de calibración automático, el cual asegura que el caudal de aire muestreado se mantenga constante y determina el volumen de muestreo para polvos totales y fracción respirable.



Fuente: Laboratorio de Prevención de Riesgos, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-7. Burbujómetro digital.

- Cyclone Calibration Jar: Equipo que se utiliza en la calibración del ciclón.



Fuente: Laboratorio de Prevención de Riesgos, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-8. Cyclone Calibration Jar.

- Balanza analítica: Instrumento que sirve para determinar el peso de los portafiltros.



Fuente: Laboratorio de Prevención de Riesgos, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-9. Balanza analítica.

3.1.2 Método

Antes de comenzar la toma de muestra para polvos totales y para fracción respirable, es necesario calibrar las bombas para cada tren de muestreo con el Burbujometro digital, (figura 3-10 y 3-11), con el fin de asegurar que el caudal de aire muestreado sea constante y para determinar el volumen correcto basándose en el “Manual De Toma De Muestras De Contaminantes Químicos Ambientales” (Tabla VIII-3) con bomba de muestreo portátil , presente en el Laboratorio de Prevención de Riesgos de la Universidad (tabla 3-1).



Fuente: Laboratorio de Prevención de Riesgos, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-10. Calibración tren de muestreo para polvos totales.



Fuente: Laboratorio de Prevención de Riesgos, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-11. Calibración tren de muestreo para fracción respirable.

Tabla 3-1. Extracto Tabla VIII-3

Agente	Cabezal de muestreo	Caudal de muestreo (L/min)	Criterio aceptación de la muestra	Técnica analítica
Polvo Total, Fracción Respirable	Portafiltros de dos cuerpos con PVC, 37 mm diámetro, 5 um tamaño de poro, montado en un ciclón.	Según tipo de ciclón	(L)	Gravimetría
Polvo Total	Portafiltros de dos cuerpos con PVC, 37 mm diámetro, 5 um tamaño de poro.	1,5 – 2,0	(L)	Gravimetría

Fuente: Manual De Toma De Muestras De Contaminantes Químicos Ambientales (ISP)

Para establecer la concentración de los agentes, se efectuó el siguiente procedimiento:

1. Se realizaron tres calibraciones de las bombas con un burbujómetro digital, con un caudal de 2,0 L/min para el portafiltro y de 1,7 L/min para el ciclón (Tabla 3-1). Determinando el caudal promedio de la medición.
2. Se tomaron cuatro portafiltros que se encontraban en el desecador y se pesaron antes de realizar la medición, considerando este dato como peso inicial en la ecuación 3-1, para cada medición con su respectivo portafiltro. (Anexo 1)
3. Se realizó el muestreo para polvos totales y fracción respirable durante 15 minutos, periodo durante el cual se presentan ciclos de funcionamientos del chancador (figura 3-12 y 3-13) y del molino de bolas (figura 3-14 y 3-15).



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-12. Muestreo ambiental para polvos totales en chancador.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-13. Muestreo personal para fracción respirable en chancador.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-14. Muestreo ambiental para polvos totales en molino de bolas.



Fuente: Laboratorio de Minería y Metalurgia, UTFSM, Viña del Mar.

Figura 3-15. Muestreo personal para fracción respirable en molino de bolas.

4. Una vez finalizadas las mediciones, se pesaron nuevamente los portafiltros con la muestra, considerándolos como peso final en la ecuación 3-1, para cada muestreo con sus respectivos portafiltros. (Anexo 5, 6, 7 y 8)
5. Se obtuvieron los gramos del material particulado para cada medición según la siguiente ecuación (Ecuación 3-1):

$\text{Peso Muestra (g)} = \text{Peso Final (g)} - \text{Peso Inicial (g)}$

Ecuación 3-1. Determinación del peso de la muestra

6. Se transformó la unidad de masa de todas las muestras, de gramos a miligramos, según la siguiente relación (Ecuación 3-2):

$1 \text{ g} = 1.000 \text{ mg}$
--

Ecuación 3-2. Relación gramo – miligramo

7. Se determinó el volumen de las muestras en litros, según la ecuación 3-3, donde el caudal corresponde al promedio de las tres calibraciones de las bombas correspondientes y el tiempo a los minutos que se efectuó cada muestreo (Ecuación 3-3):

$\text{Caudal (L/ min)} = \text{Volumen (L)} / \text{Tiempo (min)}$

$\text{Volumen (L)} = \text{Caudal (L/ min)} \times \text{Tiempo (min)}$
--

Ecuación 3-3. Ecuación de caudal

8. Se transformó la unidad del volumen de todas las muestras, de litros a metros cúbicos, según la siguiente relación (Ecuación 3-4):

$1 \text{ m}^3 = 1.000 \text{ L}$

Ecuación 3-4. Relación litro – metro cúbico

9. Se obtuvo las concentraciones del material particulado para todas las mediciones, según la siguiente ecuación (Ecuación 3-5):

$$\text{Concentración (mg/m}^3\text{)} = \text{Masa muestra (mg)} / \text{Volumen muestra (m}^3\text{)}$$

Ecuación 3-5. Ecuación de concentración.

3.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS

De acuerdo al procedimiento de calibración y de muestreo mencionados anteriormente los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- **Calibración bombas**

Como se mencionó anteriormente, se realizaron las calibraciones de las cuatro bombas, dos para el muestreo con portafiltros y dos para el ciclón, obteniéndose tres datos, por lo que se utilizó el caudal promedio para determinar la concentración del agente contaminante (tabla 3-2 y 3-3).

Tabla 3-2. Determinación de caudal promedio para cada tren de muestreo, para posterior muestreo en el Chancador.

MUESTREO EN EL CHANCADOR DE MANDIBULA			
BOMBA N°1 : TREN DE MUESTREO CON PORTAFILTRO		BOMBA N°3 : TREN DE MUESTREO CON CICLÓN	
Caudal teórico (L/min)	1,500 – 2,000	Caudal teórico (L/min)	1,700
<u>Calibración (L/min)</u>		<u>Calibración (L/min)</u>	
Caudal 1	1,990	Caudal 1	1,710
Caudal 2	1,992	Caudal 2	1,735
Caudal 3	1,991	Caudal 3	1,700
Caudal promedio	1,991	Caudal promedio	1,715

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-3. Determinación de caudal promedio para cada tren de muestreo, para posterior muestreo en el Molino de bolas.

MUESTREO EN EL MOLINO DE BOLAS			
BOMBA N°1: TREN DE MUESTREO CON PORTAFILTRO		BOMBA N°4: TREN DE MUESTREO CON CICLÓN	
Caudal teórico (L/min)	1,500 – 2,000	Caudal teórico (L/min)	1,700
<u>Calibración</u> (L/min)		<u>Calibración</u> (L/min)	
Caudal 1	2,021	Caudal 1	1,734
Caudal 2	2,040	Caudal 2	1,715
Caudal 3	2,020	Caudal 3	1,705
Caudal promedio	2,027	Caudal promedio	1,718

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo concentraciones**

Con los datos requeridos, que fueron mencionados en el procedimiento del muestreo, ya sea el peso de la muestra en miligramos y el volumen del muestreo en metros cúbicos, se determinó la concentración de los polvos no especificados totales y los polvos no especificados fracción respirable para 15 minutos en ambos equipos (tabla 3-4 y 3-5)

Tabla 3-4. Determinación de la concentración de los contaminantes en el Chancador.

MUESTREO EN CHANCADOR	MUESTREO POLVOS NO ESPECIFICADOS TOTALES (PORTAFILTRO N°1)			
	Peso Inicial (g)	17,2856	Caudal promedio (L/min)	1,991
	Peso Final (g)	17,2964	Tiempo de medición (min)	15
	Peso Muestra (g)	0,0108	Volumen (L)	29,865
	Peso Muestra (mg)	10,8	Volumen (m³)	0,029865
	Concentración (mg/ m³)		361,63	
	MUESTREO POLVOS NO ESPECIFICADOS FRACCIÓN RESPIRABLE (PORTAFILTRO N°3)			
	Peso Inicial (g)	17,3335	Caudal promedio (L/min)	1,715
	Peso Final (g)	17,3459	Tiempo de medición (min)	15
	Peso Muestra (g)	0,0124	Volumen (L)	25,725
	Peso Muestra (mg)	12,4	Volumen (m³)	0,025725
	Concentración (mg/ m³)		482,02	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-5. Determinación de la concentración de los contaminantes en el Molino de bolas.

MUESTREO EN MOLINO DE BOLAS	MUESTREO POLVOS NO ESPECIFICADOS TOTALES (PORTAFILTRO N°2)			
	Peso Inicial (g)	17,2859	Caudal promedio (L/min)	2,027
	Peso Final (g)	17,2936	Tiempo de medición (min)	15
	Peso Muestra (g)	0,0077	Volumen (L)	30,405
	Peso Muestra (mg)	7,7	Volumen (m³)	0,030405
	Concentración (mg/ m³)		253,25	
	MUESTREO POLVOS NO ESPECIFICADOS FRACCIÓN RESPIRABLE (PORTAFILTRO N°4)			
	Peso Inicial (g)	17,3309	Caudal promedio (L/min)	1,718
	Peso Final (g)	17,3397	Tiempo de medición (min)	15
	Peso Muestra (g)	0,0088	Volumen (L)	25,77
	Peso Muestra (mg)	8,8	Volumen (m³)	0,02577
	Concentración (mg/ m³)		341,48	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las concentraciones obtenidas en cada medición, en el chancador y en el molino de bolas, se puede observar que en el sector de conminución del laboratorio de minería y metalurgia los alumnos y profesores están expuestos a altas concentraciones de material particulado durante este periodo de tiempo. Estas concentraciones corresponden a una muestra representativa de la exposición que se genera, ya que los equipos funcionan aproximadamente una hora y media, que es el tiempo de duración de las clases prácticas.

Según los límites permisibles ponderados indicados en la tabla del artículo 66 del Decreto Supremo 594/2000 del Ministerio de Salud destacado en el capítulo anterior, son de 8 mg/m³ para polvos totales y 2,4 mg/m³ para fracción respirable para una jornada laboral de 8 horas, por lo tanto el valor de las concentraciones obtenidas en el muestreo, se debe ponderar al mismo tiempo, para poder compararlas y determinar si existe riesgo higiénico. Con respecto a los límites permisibles temporales, para estos tipos de contaminantes no especifica un límite, pero según el artículo 60 del mismo reglamento, la exposición no debe superar cinco veces el LPP, por lo cual el LPT para polvos totales es de 40 mg/m³ y 12 mg/m³ para fracción respirable. Por lo tanto las concentraciones obtenidas, fueron las siguientes para el chancador (tabla 3-6) y para el molino (tabla 3-7).

Tabla 3-6. Concentración polvos totales y fracción respirable en el Chancador.

POLVOS TOTALES		POLVOS FRACCIÓN RESPIRABLE	
TIEMPO (h)	CONCENTRACIÓN (mg/m ³)	TIEMPO (h)	CONCENTRACIÓN (mg/m ³)
0,25	361,63	0,25	482,02
1,5	60,27	1,5	80,34
8	11,30	8	15,06

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que al ponderar las concentraciones obtenidas en el chancador al tiempo de una jornada laboral de 8 horas, ambos contaminantes están sobre los límites permisibles ponderados definidos por el DS 594/2000 del Ministerio de Salud. En el caso de tomar como referencia el valor del LPT, la concentración de fracción respirable sobre pasa dicho límite, a diferencia de la concentración de polvos totales que está bajo este límite.

Tabla 3-7. Concentración polvos totales y fracción respirable en el Molino.

POLVOS TOTALES		POLVOS FRACCIÓN RESPIRABLE	
TIEMPO (h)	CONCENTRACIÓN (mg/m ³)	TIEMPO (h)	CONCENTRACIÓN (mg/m ³)
0,25	253,25	0,25	341,48
1,5	42,21	1,5	56,91
8	7,91	8	10,67

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la medición realizada en el molino, la concentración de polvos totales está muy cercana al límite permisible ponderado, y la concentración de fracción respirable supera su límite. Al tomar como referencia el valor del LPT, ambas concentraciones están bajo los límites correspondientes a cada uno.

Al analizar los datos, se puede apreciar que las concentraciones de fracción respirable son mayores que las concentraciones de polvos totales en ambos equipos, lo cual debería ser al revés, ya que los polvos totales incluyen los polvos de fracción respirable. Estos resultados se pudieron generar por una manipulación incorrecta de las muestras, ya que los muestreos se realizaron en periodos diferidos, siendo primero los muestreos de polvos fracción respirable en ambos equipos y luego los muestreos de polvos totales. Otro

factor que pudo haber afectado, es que no se esperó el tiempo adecuado en el desecador para llegar a peso constante de las muestras una vez finalizados los muestreos, por lo que no se eliminó completamente la humedad del ambiente ni de la manipulación.

Por lo tanto, con los resultados obtenidos se determina que existe riesgo higiénico en el sector de estudio, ya que en tres de las cuatro mediciones sobrepasan los límites permisibles ponderados. Además se puede establecer que el equipo que emite mayor concentración de contaminante, es el chancador de mandíbula por lo que es necesario tomar medidas de control.

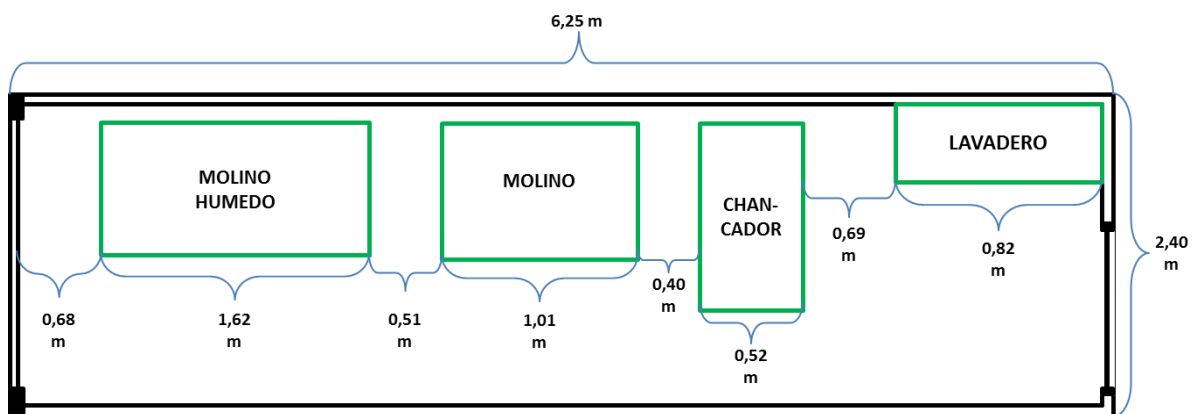
CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE SISTEMA DE VENTILACIÓN

4. PROPUESTA DE SISTEMA DE VENTILACIÓN

En el presente capítulo, se realizará la propuesta de diseño del sistema de ventilación con extracción localizada para el laboratorio, estableciendo cada uno de los componentes con sus propias características, con el fin de determinar los costos asociados para su posible implementación.

4.1 DISEÑO DE SISTEMA

Con los antecedentes anteriores, en relación a las condiciones actuales existentes en la zona de conminución del laboratorio, es necesario controlar las emisiones de material particulado, ya que los alumnos y profesores al momento de utilizar los equipos de conminución, están expuestos a las altas concentraciones de polvos totales y polvos de fracción respirable. Las dimensiones de dicha zona se muestran a continuación (figura 4-1):



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-1. Dimensiones de la zona de conminución.

Por lo tanto, una medida de control de ingeniería, es la implementación de un sistema de ventilación con extracción localizada, ya que los resultados de las mediciones

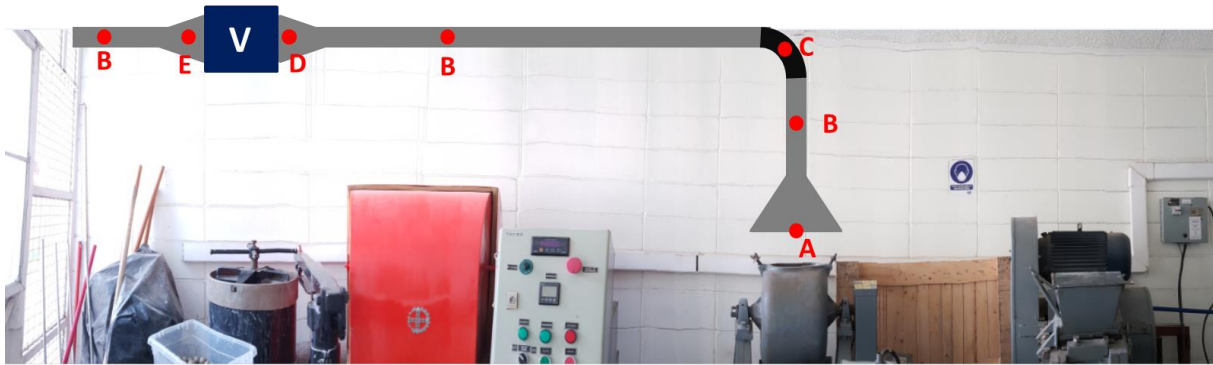
evidencian las altas emisiones de los equipos en el periodo de tiempo de muestreo, específicamente 11,30 mg/m³ de polvos totales y 15,06 mg/m³ para fracción respirable en el chancador de mandíbulas, y 7,91 mg/m³ para polvos totales y 10,67 mg/m³ para fracción respirable en el molino de bolas, concentraciones que sobrepasan y/o están muy cerca de los límites permisibles ponderados para ambos agentes químicos. Por lo que en este estudio se realizará una propuesta de sistema de ventilación, que consistirá en un sistema de ventilación simple, ya que estará compuesto por ductos, accesorios simples, un ventilador y una captación, debido a que existe un punto de emisión a la vez y esta no es continua.

El sistema de ventilación como se mencionó anteriormente, estará compuesto por los siguientes accesorios:

- Captación: Esta será una campana simple, la cual puede ser redonda, rectangular o cuadrada, donde el tamaño de entrada estará determinado por el equipo que tenga mayores dimensiones en la zona de generación de material particulado, especificado en el punto A de la figura 4-2. Estas se caracterizan por ser útiles en capturas ascendentes, descendentes o lateral, que en este caso será ascendente, por lo tanto la captación será elevada. Estas se utilizan en operaciones de soldadura, esmerilado, limpieza de metales y zonas en la que se genera polvo.
- Ductos: Estos son muy importantes, ya que a través de estos se unen los componentes y se transporta el aire con el contaminante. Pueden tener una geometría circular, cuadrada o rectangular. Los ductos utilizados serán lisos y rígidos, generalmente son de acero galvanizado, estos pueden colocarse más de una unidad en sucesión, para cumplir con el largo requerido por el sistema. El punto B de la figura 4-2 especifica la ubicación de estos.
- Accesorios: Este sistema contará solo con un codo, el cual se especifica en el punto C de la figura 4-2, se caracterizará por ser flexible y corrugado para llegar a ambas zonas de generación de material particulado, del mismo diámetro que los ductos.

Además el sistema contara con una expansión y una contracción para unir los ductos a la boca del ventilador, su ubicación se indica en el punto D y E respectivamente, de la figura 4-2. Estos accesorios pueden ser del mismo material de los ductos o de aluminio.

- Ventilador: Este equipo es el de mayor relevancia, ya que aporta la energía necesaria para mover el fluido de un punto a otro. Debido a las características de diseño de este sistema, el ventilador deberá ser de tipo axial, ya que el fluido ingresara y saldrá en la misma dirección. El cual se especifica con la letra V en la figura 4-2.



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-2. Propuesta de sistema de ventilación.

Cabe destacar, que el sistema se caracterizará por disponer de una zona fija y una móvil, la primera zona será desde el ducto final hasta el inicio del codo, y la zona móvil será del codo hasta la captación (figura 4-3) con el fin de llegar a los dos puntos de generación.



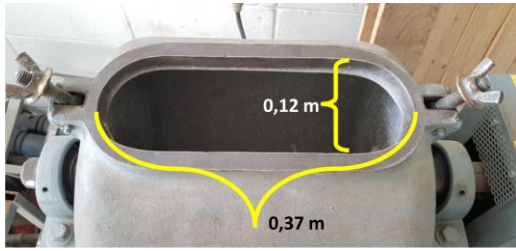
Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-3. Zonas del sistema de ventilación.

4.1.1 Dimensiones del sistema

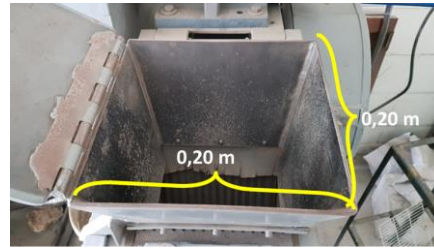
Las dimensiones del sistema de ventilación serán las siguientes:

- Captación: La captación del sistema será rectangular y su ángulo mayor será de 45°. El tamaño de la campana estará definida por las dimensiones de los puntos de generación de material particulado de los equipos, el ancho de la abertura del molino es de 37 x 12 centímetros (figura 4-4) y en el chancador es de 20 x 20 centímetros (figura 4-5), por lo tanto la captación deberá tener una longitud de 40 centímetros y un ancho de 20 centímetros (figura 4-6 y 4-7) para que abarque la totalidad de las aberturas. Esta deberá estar ubicada a una distancia de 1 a 1,5 veces su tamaño. Por lo tanto al tener 20 cm de ancho, la distancia mínima entre la fuente y la captación deberá ser de 20 cm.



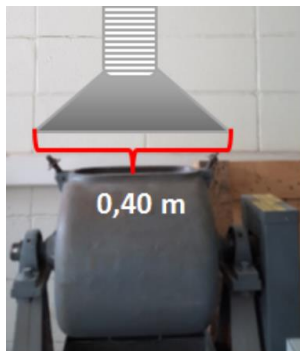
Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-4. Tamaño abertura molino.



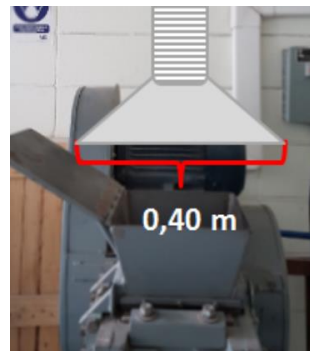
Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-5. Tamaño abertura chancador.



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

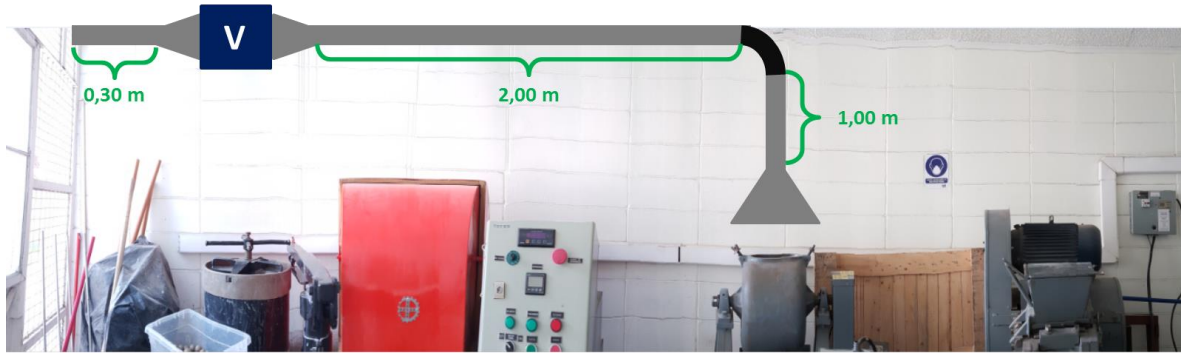
Figura 4-6. Longitud captación en molino.



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-7. Longitud captación en chancador.

- Ductos: El largo total que se utilizará de ductos lisos y rígidos, será de aproximadamente 3,30 metros, considerando el ducto situado antes del ventilador, entre la expansión y el codo y el ducto entre el codo y la captación (0,30, 2,00 y 1,00 metros respectivamente) (figura 4-8). Estos tendrán un diámetro interno de 5" (0,127 metros). Generalmente son de acero galvanizado.



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-8. Largo ducto liso.

- **Accesorios:** Como se mencionó anteriormente, se dispondrá de un codo que se encontrara en la zona móvil del sistema y se caracterizará por ser flexible y corrugado, con el fin de llegar a los dos equipos, que encuentran a una distancia de 1,2 metros, considerando del centro de la abertura del molino al centro de la abertura del chancador (figura 4-9).



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-9. Distancia entre equipos.

El diámetro del codo deberá ser el mismo de los ductos, para un mejor acople, ósea de 5", el cual deberá formar un ángulo de 90° y la relación radio/diámetro deberá ser de 2,75, con el fin de que pueda llegar de forma correcta al punto de generación del chancador (figura 4-10). El material de este accesorio puede ser acero galvanizado o

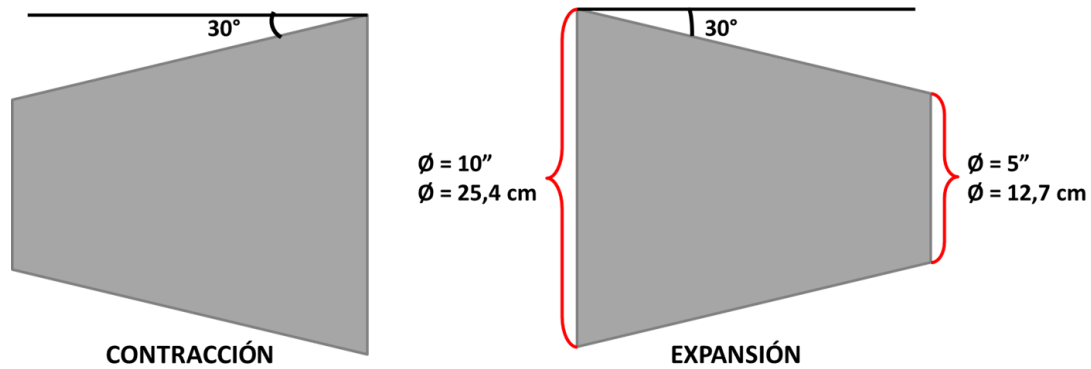
de aluminio, este último es recomendable, ya que es un material más flexible y de fácil manipulación.



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-10. Características codo.

Con respecto a la expansión y contracción, la relación entre el diámetro de los ductos y el diámetro de la abertura del ventilador, no deberá superar 2:1 y el ángulo cónico deberá ser de 30° en ambos accesorios. Como se sabe que el diámetro de los ductos es de 5", el diámetro de la abertura del ventilador debería ser máximo 10" (figura 4-11).



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-11. Características expansión y contracción.

- Ventilador: La potencia de este equipo estará determinada por el caudal de captación del sistema de ventilación y el total de las pérdidas de carga que se generaran dentro del mismo, provocadas por la captación, los ductos y los accesorios.

4.1.2 Cálculos de diseño del sistema

Para realizar los cálculos de diseño del sistema de ventilación, se debe tener en consideración varios factores. Como lo es la velocidad de captura y la velocidad de transporte de los contaminantes.

En el caso de la velocidad de captura, con la ayuda de un anemómetro se intentó medir la velocidad de generación del contaminante en ambos equipos, ya que esta velocidad determina la velocidad de captura del sistema, pero no se consideró la medición, ya que los equipos no se encontraban en funcionamiento con mineral. Por lo tanto, para efecto de este estudio, la velocidad de captura se establecerá teóricamente según la tabla de velocidades de captación que se indica a continuación (figura 4-12):

 Únicamente gases y vapores	Características de la fuente de contaminación	Ejemplos	Velocidad de captación m/s
	Desprendimiento con velocidades casi nulas y aire quieto.	Cocinas. Evaporación en tanques. Desengrasado.	0,25 - 0,5
	Desprendimientos a baja velocidad en aire tranquilo.	Soldadura. Decapado. Talleres galvanotecnia.	0,5 - 1
	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Cabinas de pintura.	1 - 2,5
 Con partículas sólidas en suspensión	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Trituradoras.	1 - 2,5
	Desprendimiento a alta velocidad en zonas de muy rápido movimiento del aire.	Esmerilado. Rectificado.	2,5 - 10

Se adoptarán valores en la zona inferior o superior de cada intervalo según los siguientes criterios:

Inferior 1. Pocas corrientes de aire en el local. 2. Contaminantes de baja toxicidad. 3. Intermitencia de las operaciones. 4. Campanas grandes y caudales elevados.	Superior 1. Corrientes turbulentas en el local. 2. Contaminantes de alta toxicidad. 3. Operaciones continuas. 4. Campanas de pequeño tamaño.
---	--

Fuente: Manual Práctico de Ventilación, Soler & Palau.

Figura 4-12. Velocidades de captación.

Como se destaca en la figura 4-12, la velocidad de captación deberá ser 1 m/s, ya que el contaminante son partículas sólidas en suspensión y producen una generación activa en zonas de movimiento rápido de aire, por lo que el chancador y el molino como se indica son trituradoras de rocas con mineral. Además se considera el valor inferior, ya que cumple con los criterios indicados.

La velocidad de transporte de los contaminantes a través del sistema, también se establece teóricamente, según la tabla en la cual se indica la gama de valores mínimos de las velocidades de transporte de aire contaminando en las conducciones, que se muestra a continuación (figura 4-13).

Gases, vapores		5 a 6(*)
Humos	Humos de óxido de zinc y de aluminio.	7 a 10(*)
Polvos muy finos y ligeros	Felpas muy finas de algodón.	10 a 13
Polvos secos y pólvoras	Polvos finos de caucho, de baquelita; felpas de yute; polvos de algodón, de jabón.	13 a 18
Polvos industriales medios	Abrasivo de lijado en seco; polvos de amolar; polvos de yute, de grafito; corte de briquetas, polvos de arcilla, de calcáreo; embalaje o pesada de amianto en las industrias textiles.	18 a 20
Polvos pesados	Polvo de toneles de enarenado y desmoldeo, de chorreado, de escariado.	20 a 23
Polvos pesados o húmedos	Polvos de cemento húmedo, de corte de tubos de amianto-cemento, de cal viva.	>23
(*)Generalmente se adoptan velocidades de 10 m/s		o transporte neumático húmedo

Fuente: Manual Práctico de Ventilación, Soler & Palau.

Figura 4-13. Velocidades de transporte.

Como se destaca en la figura, el contaminante presente en el laboratorio, está dentro de la categoría de “polvos industriales medios”, por lo tanto la velocidad de transporte debe ser entre 18 a 20 m/s, por lo tanto para efecto de este estudio, se utilizará un valor promedio, el cual es de 19 m/s.

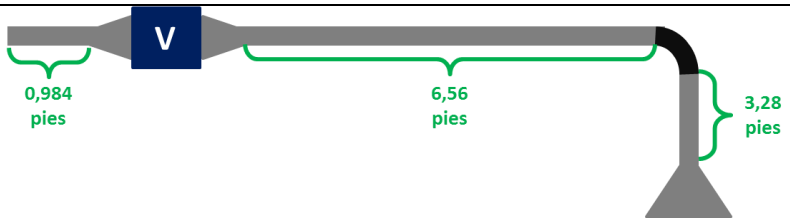
Para realizar los cálculos correspondientes, los datos establecidos anteriormente se deben trabajar en las unidades requeridas, por lo que se deben convertir los metros a pie, los m/s a pie/min y el diámetro de la captación de metros a pulgadas, según las siguientes relaciones (Ecuación 4-1):

1 pie = 0,3048 metros.
1 min = 60 segundos.
1 pulgada = 0,0254 metros.

Ecuación 4-1. Relaciones de medidas.

Una vez realizadas las conversiones de las unidades, los datos establecidos del sistema de ventilación se muestran en la tabla 4-1:

Tabla 4-1. Datos de Sistema de Ventilación.

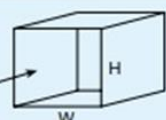
Largo ductos (figura 4-14):	 Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia. Figura 4-14. Largo de ductos del sistema.
Ø Ductos:	5 pulg.
Captación:	1,31 x 0,66 pies.
Ángulo captación:	45°.
V captura:	200 pie/min.
V transporte:	3740 pie/min.
Ángulo codo:	90°
R/D codo:	2,75.
Distancia fuente/captación (H):	0,66 pies.
D₁/D₂ expansión:	2:1
Ángulo cónico expansión:	30°
Ángulo cónico contracción:	30°

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos, se pueden realizar los cálculos necesarios para determinar la potencia del ventilador requerida por el sistema de ventilación diseñado, específicamente la determinación del caudal de captación y las pérdidas de carga estáticas generadas en el sistema. Por lo tanto se realizaron los siguientes cálculos:

- **Caudal de captación**

Este caudal, está determinado por la geometría de la captación, por lo que las relaciones ya están normadas y se muestran en la figura (4-15):

Tipo de campana	Descripción	Caudal
	Campana simple	$Q = V(10x2+A)$
	Campana simple con pestaña	$Q = 0,75V(10x2+A)$
	Cabina	$Q = VA = VWH$
	Campana elevada	$Q = 1,4 PVH$ P = perímetro H = altura sobre la operación
	Rendija múltiple. 2 ó más rendijas.	$Q = V(10x2+A)$

Fuente: Manual Práctico de Ventilación, Soler & Palau.

Figura 4-15. Determinación del caudal de captación.

Según la figura anterior, para una campana elevada, que es el caso de la captación del sistema, el caudal de captación está determinado según la siguiente relación (Ecuación 4-2):

$$Q = 1,4 * P * V * H$$

Ecuación 4-2. Determinación del caudal de captación.

Dónde:

- P = Perímetro de la captación (pie).
- V = Velocidad de captación (pie/min).
- H = Distancia fuente/captación (pie).

Por lo tanto, al reemplazar los datos correspondientes, el resultado del caudal de captación es:

$$Q = 1,4 * P * V * H$$

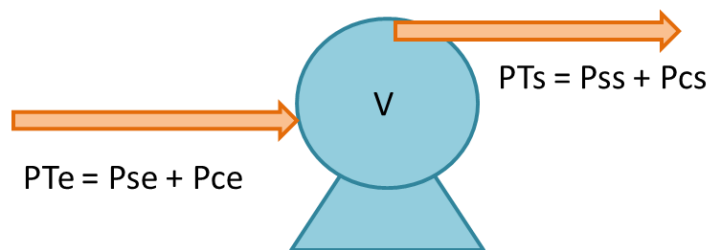
$$Q = 1,4 * [2 * \text{Largo} + 2 * \text{Ancho}] * V * H$$

$$Q = 1,4 * [2 * 1,31 \text{ pies} + 2 * 0,66 \text{ pies}] * 200 \frac{\text{pies}}{\text{min}} * 0,66 \text{ pies}$$

$$Q = 728,11 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

- **Pérdidas de carga totales**

Para determinar las pérdidas de carga estáticas que se generan en el sistema diseñado, se debe establecer la presión total del fluido, con el fin de obtener la presión estática y dinámica de entrada y salida del ventilador (figura 4-16).



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-16. Presión total de entrada y salida de un ventilador.

Dónde:

- V = Ventilador.
- P_{Te} = Presión total de entrada ("cda).
- P_{se} = Presión estática de entrada ("cda).
- P_{ce} = Presión cinética de entrada ("cda).
- P_{Ts} = Presión total de salida ("cda).
- P_{ss} = Presión estática de salida ("cda).
- P_{cs} = Presión cinética de salida ("cda).

La presión cinética corresponde a la presión que ejerce el aire debido a su velocidad. Y el principio de continuidad se basa en la siguiente relación (Ecuación 4-3):

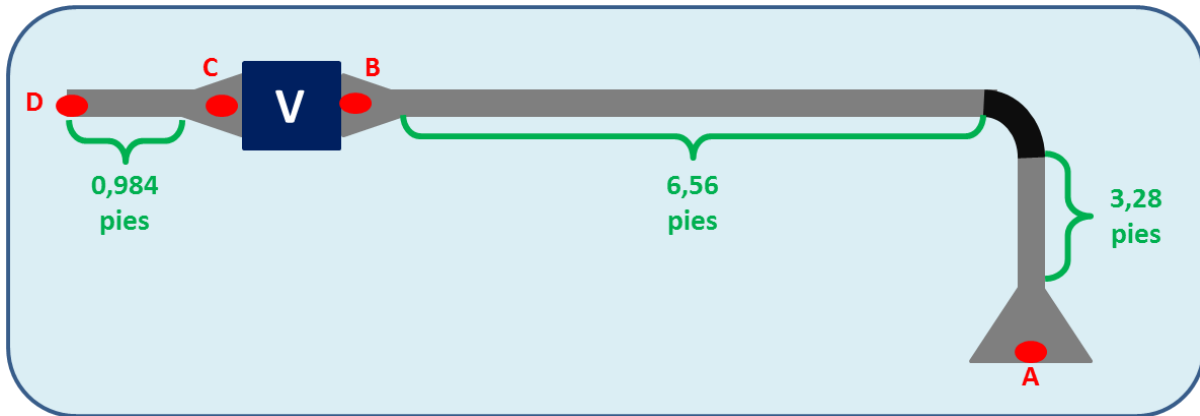
$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{\emptyset_2}{\emptyset_1} \right)^2$$

Ecuación 4-3. Principio de continuidad.

Dónde:

- V_1 = Velocidad antes del ventilador (m/s).
- V_2 = Velocidad después del ventilador (m/s).
- $\emptyset_1$ = Diámetro ducto antes del ventilador (m).
- $\emptyset_2$ = Diámetro ducto después del ventilador (m).

Debido a esto, en este sistema la presión cinética es la misma al entrar y salir del ventilador, ya que los ductos tienen el mismo diámetro, y según la ecuación 4-3, la velocidad sería la misma en ambas zonas. Por lo tanto las pérdidas de cargas solo estarán definidas por la presión estática, ya que está corresponde a la intensidad de un conjunto de fuerzas compresibles que se encuentra sometido un fluido, debido a que esta presión actúa en todas las direcciones con igual intensidad tanto en fluidos estáticos como en movimiento. Por lo tanto se realizaron los siguientes cálculos para determinar las pérdidas de carga estáticas del sistema, basándose el lay out del sistema (figura 4-17):



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-17. Lay out sistema de ventilación.

- Pérdida de carga estática del punto A al punto B (P_s A-B):

$$P_s \text{ A-B} = \text{Pérdida de carga captación } (P_{s_c}) + \text{Pérdida de carga de largo ducto recto } (P_{s_{LDR}}) + \\ \text{Pérdida de carga del codo } (P_{s_{codo}}) + \text{Pérdida de carga expansión } (P_{s_{exp}})$$

*Pérdida de carga captación (P_{s_c}):

Las pérdidas de carga que se generan en las captaciones, son pérdidas dinámicas, y tienen dos componentes básicos, que es la presión de velocidad (P_c) y las pérdidas por entrada (h_e) que se determinan con un coeficiente de pérdida, lo cual se establece por su geometría y su ángulo, las cuales ya están definidas según la figura 4-18:

α	Coeficiente n	
	Circular	Rectangular
15°	0,15	0,25
30°	0,08	0,16
45°	0,06	0,15
60°	0,08	0,17
90°	0,15	0,25
120°	0,26	0,35
150°	0,40	0,48

Fuente: Manual Práctico de Ventilación, Soler & Palau.

Figura 4-18. Coeficiente de pérdida de captaciones.

La campana del sistema, como se mencionó en la tabla 4-1, es rectangular y de 45°, por lo tanto el coeficiente de pérdida es 0,15. Por lo tanto se calcula de la siguiente forma:

$$P_{s_c} = h_e + 1 * P_c \rightarrow P_{s_c} = n * P_c + 1 * P_c \rightarrow P_{s_c} = 0,15 * P_c + 1 * P_c$$

$$P_{s_c} = 1,15P_c$$

Para determinar el valor de P_c , se realiza mediante la siguiente ecuación 4-4:

$$P_c = \left(\frac{V_{\text{transporte}}}{4005} \right)^2$$

Ecuación 4-4. Cálculo de P_c .

Según lo indicado en la tabla de datos (Tabla 4-1), la velocidad de transporte es 3.740 pie/min, por lo tanto el P_c es:

$$P_c = \left(\frac{3740 \text{ pie/min}}{4005} \right)^2 \rightarrow P_c = 0,872 \text{ "cda}$$

Por lo tanto el valor de P_{s_c} corresponde a:

$$P_{s_c} = 1,15P_c \rightarrow P_{s_c} = 1,15 * 0,872 \text{ "cda}$$

$$\mathbf{P_{s_c} = 1,003 \text{ "cda}}$$

* Pérdida de carga de largo ducto recto ($P_{s_{LDR}}$):

Las pérdidas de carga de largo ducto recto, corresponden a pérdidas por fricción, las cuales se determinan en función del diámetro y de la velocidad mediante la Ecuación de Colebrook White (Ecuación 4-5), ya que las características de la superficie interna de los ductos varían poco entre unas y otras:

$$h_f = \frac{2,74 \times \left(\frac{V_{\text{transporte}}}{1000} \right)^{1,9}}{(\emptyset'')^{1,22}}$$

Ecuación 4-5. Ecuación de Colebrook White.

Dónde:

- h_f = Pérdidas de carga en "cda por cada 100 pies de ducto recto.
- $V_{\text{transporte}}$ = Velocidad en pie/min.
- $\emptyset$ = Diámetro del ducto en pulgadas.

Como se mencionó en la tabla de datos (Tabla 4-1), la velocidad de transporte es de 3.740 pie/m, el diámetro de los ductos es de 5", por lo tanto h_f :

$$h_f = \frac{2,74 \times \left(\frac{V_{\text{transporte}}}{1000} \right)^{1,9}}{(\emptyset'')^{1,22}} \rightarrow h_f = \frac{2,74 \times \left(\frac{3740 \text{ pie/min}}{1000} \right)^{1,9}}{(5'')^{1,22}}$$

$$h_f = \frac{4,715 \text{ " cda}}{100 \text{ pie}}$$

Para obtener PS_{LDR} , se debe multiplicar por el largo total de ducto recto del sistema de ventilación, dando como resultado lo siguiente:

$$PS_{LDR} = \frac{4,715 \text{ " cda}}{100 \text{ pie}} * 9,84 \text{ pie} \rightarrow \mathbf{PS_{LDR} = 0,464 \text{ " cda}}$$

*Pérdida de carga del codo (PS_{codo}):

Las pérdidas que se generan en el codo, se caracterizan por ser pérdidas dinámicas, ya que estas se generan por cambios de dirección del fluido. Estas se determinan en base a un factor de pérdida en función de la presión cinética, como se muestra en figura 4-19:

R/D	Loss Fraction of VP
2.75	0.26
2.50	0.22
2.25	0.26
2.00	0.27
1.75	0.32
1.50	0.39
1.25	0.55

Fuente: Material académico de la asignatura de Ventilación Industrial, IPRLA, UTFSM Sede Viña del Mar.

Figura 4-19. Factor de pérdida de carga para Codos de 90°.

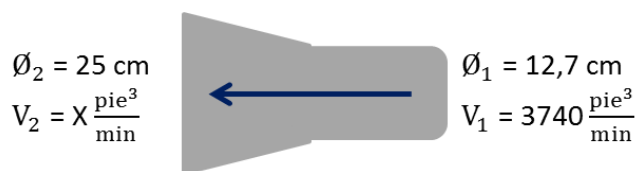
Como se mencionó en la tabla 4-1, el codo debe formar un ángulo de 90°, y la relación R/D debe ser de 2,75, por lo tanto el factor es de 0,26. Dado este factor, el resultado de pérdida de carga en el codo, es el siguiente:

$$P_{s_{\text{codo}}} = 0,26 * P_c \rightarrow P_{s_{\text{codo}}} = 0,26 * 0,872$$

$$P_{s_{\text{codo}}} = 0,227 \text{ "cda"}$$

*Pérdida de carga expansión ($P_{s_{\text{exp.}}}$):

Estas pérdidas se generan porque hay un cambio en el diámetro de los ductos, por lo tanto cambia la velocidad de transporte del fluido (figura 4-20) y esto conlleva a un cambio en el P_c del sistema. Dicha velocidad, se puede determinar con la relación del principio de continuidad (Ecuación 4-3).



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{\Ø_2}{\Ø_1} \right)^2$$

Figura 4-20. Características expansión.

Ecuación 4-3

Como se sabe que el diámetro de los ductos es de 5" (12,7 cm) y la relación entre el diámetro 1 y el 2, no debe superar la relación 2:1, por lo tanto el diámetro 2 no debería superar los 25 cm, dando como resultado la siguiente velocidad de transporte:

$$\frac{3740 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}}{V_2} = \left(\frac{25 \text{ cm}}{12,7 \text{ cm}} \right)^2 \rightarrow V_2 = 965,2 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}$$

Una vez calculada la velocidad de transporte en ese sector, se pueden determinar las pérdidas de cargas que se generan en la expansión. Determinando el factor correspondiente, los cuales ya están estandarizados y se muestran en la figura 4-21:

Regain (R), fraction of VP difference					
Taper angle degrees	Diameter ratios D_2/D_1				
	1.25:1	1.5:1	1.75:1	2:1	2.5:1
3 1/2	0.92	0.88	0.84	0.81	0.75
5	0.88	0.84	0.80	0.76	0.68
10	0.85	0.76	0.70	0.63	0.53
15	0.83	0.70	0.62	0.55	0.43
20	0.81	0.67	0.57	0.48	0.43
25	0.80	0.65	0.53	0.44	0.28
• 30	0.79	0.63	0.51	0.41	0.25
Abrupt 90	0.77	0.62	0.50	0.40	0.25

Fuente: Material académico de la asignatura de Ventilación Industrial, IPRLA, UTFSM Sede Viña del Mar.

Figura 4-21. Factor de pérdida de carga para expansiones.

Como se determinó que la relación de D_1/D_2 es 2:1 y el ángulo cónico debe ser de 30°, que es el ideal, el factor de pérdida es 0,41, determinándose $P_{s_{exp.}}$ de la siguiente forma:

$$P_{s_{exp.}} = 0,41 * P_c$$

Y el valor de P_c se determina con la ecuación 4-4:

$$P_c = \left(\frac{V \text{ transporte}}{4005} \right)^2 \rightarrow P_c = \left(\frac{965,2 \text{ pie/min}}{4005} \right)^2 \rightarrow P_c = 0,058 \text{ "cda}$$

Por lo tanto en valor de $P_{s_{exp.}}$ corresponde a:

$$P_{s_{exp.}} = 0,41 * P_c \rightarrow P_{s_{exp.}} = 0,41 * 0,058 \text{ "cda}$$

$$P_{s_{exp.}} = 0,024 \text{ "cda}$$

Por lo tanto, una vez calculadas todas las pérdidas de cargas requeridas se puede determinar el valor total de la pérdida de carga que se genera del punto A al B, que corresponde a la presión estática de entrada al ventilador, dando como resultado lo siguiente:

$$P_{s A - B} = P_{s_c} + P_{s_{LDR}} + P_{s_{codo}} + P_{s_{exp.}}$$

$$P_{s A - B} = 1,003 \text{ "cda} + 0,464 \text{ "cda} + 0,227 \text{ "cda} + 0,024 \text{ "cda}$$

$$P_{s A - B} = 1,718 \text{ "cda}$$

- Pérdida de carga estática del punto C al punto D ($P_{s C-D}$):

$$P_{s C-D} = \text{Pérdida de carga contracción } (P_{s_{cont.}}) + \text{Pérdida de carga de largo ducto recto } (P_{s_{LDR}})$$

*Pérdida de carga contracción ($P_{s_{cont.}}$):

La pérdida que se genera en la contracción, es por la disminución paulatina del diámetro del ducto, de 10" de la salida del ventilador a 5" de diámetro del ducto, por lo tanto hay un cambio de velocidad en el interior. Como existe una expansión antes del ventilador, con la misma variación de diámetro, el valor del P_c es el mismo en ambos puntos, ya que el diámetro de entrada y salida del ventilador es de 10", por lo tanto el valor del P_c es 0,058" cda. El cual se debe multiplicar por el valor del factor de pérdida, los cuales están estandarizados y se muestran en la figura 4-22:

Taper angle degrees	L(loss)
5	0.05
10	0.06
15	0.08
20	0.10
25	0.11
30	0.13
45	0.20
60	0.30
over 60	Abrupt contraction

Fuente: Material académico de la asignatura de Ventilación Industrial, IPRLA, UTFSM Sede Viña del Mar.

Figura 4-22. Factor de pérdida de carga para contracciones.

Como se mencionó en la tabla 4-1, el ángulo cónico de la contracción debe ser de 30°, por lo que el factor de pérdida es de 0,13, determinándose el valor de $Ps_{cont.}$ de la siguiente manera:

$$Ps_{cont.} = 0,13 * Pc$$

Por lo tanto el valor de $Ps_{cont.}$ es:

$$Ps_{cont.} = 0,13 * Pc \rightarrow Ps_{cont.} = 0,13 * 0,058 \text{ "cda}$$

$$Ps_{cont.} = 7,5 \times 10^{-3} \text{ "cda}$$

* Pérdida de carga de largo ducto recto (Ps_{LDR}):

Esta pérdida se calcula de la misma forma que la pérdida de carga de largo ducto recto del punto A al B, pero con el largo del ducto del punto C al D. Ya que la velocidad de transporte en ambos puntos es la misma (3.740 pie/min), porque tienen el mismo diámetro (5"), por lo tanto el valor de Ps_{LDR} es:

$$h_f = \frac{2,74 \times \left(\frac{V_{\text{transporte}}}{1000}\right)^{1,9}}{(\emptyset'')^{1,22}} \rightarrow h_f = \frac{2,74 \times \left(\frac{3740 \text{ pie/min}}{1000}\right)^{1,9}}{(5'')^{1,22}} \rightarrow h_f = \frac{4,715 \text{ " cda}}{100 \text{ pie}}$$

$$P_{S_{LDR}} = \frac{4,715 \text{ " cda}}{100 \text{ pie}} * 0,984 \text{ pie} \rightarrow \mathbf{P_{S_{LDR}} = 0,046 \text{ "cda}}$$

Por lo tanto, el resultado de las pérdidas que se generan del punto C al punto D en el sistema de ventilación, que corresponde a la presión estática de salida del ventilador, corresponde a:

$$P_{S \text{ C} - \text{D}} = P_{S_{cont.}} + P_{S_{LDR}}$$

$$P_{S \text{ C} - \text{D}} = 7,54 \times 10^{-3} \text{ "cda} + 0,046 \text{ "cda}$$

$$\mathbf{P_{S \text{ C} - \text{D}} = 0,054 \text{ "cda}}$$

- **Potencia ventilador**

La selección del ventilador del sistema es muy importante, ya que este equipo es el que entrega la energía necesaria para que se capte el contaminante de forma óptima. Por lo tanto para determinar la potencia del ventilador se realiza mediante la siguiente relación (Ecuación 4-6):

$$W = \frac{Q * PT_V}{6356}$$

$$W = \frac{Q * (PT_S - PT_E)}{6356}$$

$$W = \frac{Q * [(P_{S_s} + P_{C_s}) - (P_{S_e} + P_{C_e})]}{6356}$$

Ecuación 4-6. Potencia de un Ventilador.

Dónde:

- W = Potencia Ventilador (HP).

- Q = Caudal del sistema (caudal de captación) en pie^3/min .

Como se mencionó anteriormente, la presión cinética de entrada y de salida en este caso en particular se anulan, por el principio de continuidad, ya que los ductos tienen el mismo diámetro. Por lo tanto la potencia del ventilador se determina de la siguiente manera:

$$W = \frac{Q * [(P_{s_s}) - (-P_{s_e})]}{6356}$$

$$W = \frac{728,11 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} * [(0,054 \text{ "cda}) - (-1,718 \text{ "cda})]}{6356}$$

$$W(AHP) = 0,20 \text{ HP}$$

Por lo tanto, la potencia mínima del ventilador para que el sistema de ventilación funcione de forma óptima, es de 0,20 HP, ya que la potencia AHP, corresponde a la potencia al aire, por lo que es necesario determinar la potencia al freno (BHP), la potencia al eje (SHP) y la potencia nominal (RHP), las cuales se determinan de acuerdo a las siguientes ecuaciones (Ecuación 4-7, 4-8 y 4-9 respectivamente):

$$W (BHP) = \frac{AHP}{n}$$

Ecuación 4-7. Potencia BHP.

Dónde:

- AHP: Potencia al aire.
- n: Eficiencia del ventilador.

$$W (SHP) = BHP * Kdl$$

Ecuación 4-8. Potencia SHP.

Dónde:

- BHP: Potencia de freno.
- Kdl: Depende del tipo de transmisión, que corresponde a:
 - Transmisión con polea: 1,15
 - Transmisión directa: 1,05

$$W (RHP) = SHP * F_{servicio}$$

Ecuación 4-9. Potencia SHP.

Dónde:

- SHP: Potencia al eje.
- $F_{servicio}$: corresponde al 30% más.

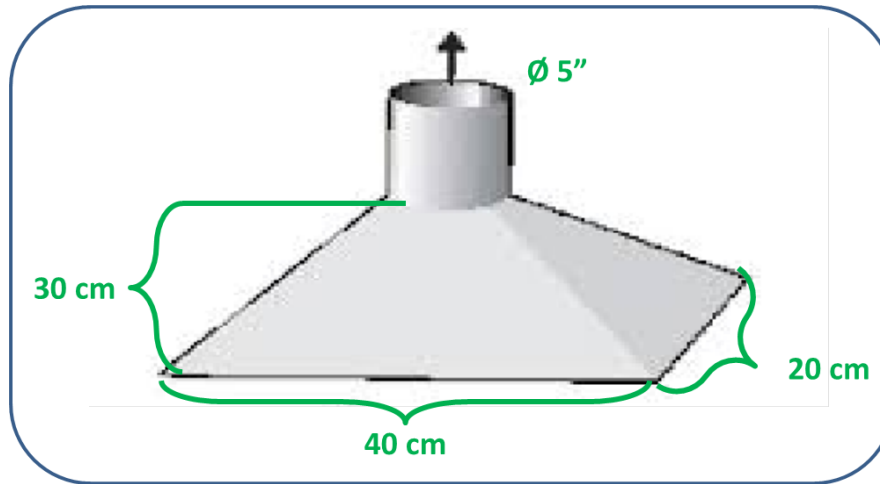
4.2 COTIZACIONES DEL SISTEMA PROPUESTO

Con los cálculos realizados en el punto anterior con respecto a la determinación de la potencia del ventilador y las características definidas de la captación, de los ductos y accesorios. Se pueden realizar las cotizaciones de cada parte del sistema para determinar el valor que tendría su implementación en UF, donde una UF corresponde a \$27.565,76 al día 20 de marzo del 2019. Por lo tanto las cotizaciones son las siguientes:

- Captación:

La captación que se utilizara será de 40 x 20 centímetros. Como esta campana está diseñada especialmente para el sistema de ventilación del laboratorio, en el mercado no se encuentran campanas de estas dimensiones, por lo tanto es necesario fabricarla en una hojalatería.

Se cotizó en “Hojalatería Torres” ubicada en la ciudad de Quillota, una campana tipo pirámide con las siguientes dimensiones (figura 4-23):



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-23. Dimensiones campana cotizada.

La fabricación de esta campana tiene un valor de \$12.000, lo que equivale a 0,435 UF, la cual está fabricada de una plancha lisa de zinc de 0,4 milímetros de espesor, material que es fácil de maniobrar, cuya cotización se encuentra en el Anexo 3.

- Ductos:

Los ductos que se utilizaran en el sistema, como se determinó anteriormente, serán de acero galvanizado de 5" de diámetro, se realizaron las cotizaciones de dichos ductos con las mismas características, para sistemas de ventilación, en tres locales comerciales vía internet, seleccionando las opciones más económicas, que fueron las siguientes:

1. Sodimac: Tubo de acero galvanizado de 5" de diámetro, con una longitud de 1 metro (figura 4-24), el cual tiene un valor de \$2.850 por metro, que equivale a 0,103 UF (Ficha técnica Anexo 4):

https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/364045/Tubo-Acero-galvanizado-5-100x12,7x12,7-cm/364045

¿Qué estás buscando?

Tubo Acero galvanizado 5" 100x12,7x12,7 cm Coyahue

SKU: 36404-5 | ★★★★★ 5.0 (2) | Compartir



Precio corresponde a tienda: Sodimac Homecenter Cerrillos.
 El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

RECYCLADOS Y REUSABLES
\$ 2.850 C/U
 Acumulas: 19 CMR Puntos

Cantidad: 1
 [Agregar a mi lista](#)

Calcula el valor de tu cuota CMR	Nº de cuotas	Valor cuotas
Costo Total Crédito: \$2.850 CAE: 0.00%	1	\$ 2.850

Disponibilidad y métodos de entrega

- ☐ Disponible para despacho a domicilio [Simular costo de despacho](#)
- ☐ Disponible para retiro en tu tienda seleccionada [Ver tiendas disponibles](#)
- ☐ Stock disponible en tiendas [Ver stock](#)

Fuente: www.sodimac.cl

Figura 4-24. Precio tubo acero galvanizado 5" (Sodimac).

- Easy: Tubo galvanizado de 5" de diámetro, con una longitud de 1 metro, marca Aceros de la Rivera (figura 4-25) el cual tiene un precio de \$3.190 por metro, que equivale a 0,116 UF (Ficha técnica Anexo 5):

→ C https://www.easy.cl/es/easy-chile/tubo-galvanizado-5-espesor-0-35-mm-aceros-de-la-rivera-1202810p

RENOVEA EL AMOR POR TU HOGAR [Ver Más](#)

easy chile

Todas las categorías

Todas las categorías Destacados Jardín y Aire Libre Muebles y Decoración Electrohogar Dormitorio Baño Cocina Pisos y Muro Herramientas Mascotas Materiales de Construcción

Inicio > **Tubo galvanizado 5" espesor 0,35 mm Aceros de la Rivera**



Alto producto:	100 cm
Ancho producto:	12,7 cm
Marca:	Aceros de la Rivera
Garantía:	3 meses
Diámetro:	5"
Material:	Acero galvanizado 0,35 mm 60% zinc
Indicaciones de uso:	Gasfitería y plomería
Características:	Posee un acabado de rodado estriado en su extremo el cual le permite un mejor acople a la tubería

[Ver más](#)

SKU: 1202810P

Internet: \$3.190

Cantidad: [Agregar](#)

[Revisar stock en tienda](#)

[Simula tu despacho](#) No disponible

[Retiro en Tienda](#) [Ver opciones](#)

VALOR DE TU CUOTA CON TARJETA CENCOSUD

Fuente: www.easy.cl

Figura 4-25. Precio tubo galvanizado 5" (Easy).

3. Construmart: Tubo galvanizado de 5" de diámetro, con una longitud de 1 metro (figura 4-26) que tiene un valor de \$2.850 por metro, que equivale a 0,103 UF (Ficha técnica Anexo 6):

CONSTRUMART S.A. [CL] | https://www.construmart.cl/tiendaonline/webapp/102-707-1201/tubo-galvanizado-5-x-1m/8508

CONSTRUMART
EL PROFESIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN

[MENÚ DE PRODUCTOS](#)

HOME > BAÑO, COCINA & CALEFONT > CALEFONT Y TERMOS > TUBOS, ACCESORIOS GALVANIZADOS Y DE VENTILACIÓN



[Tweet](#) [Compartir](#) [Guardar](#)

Tubo galvanizado 5" x 1m
sku : 127071

\$2.850 C/U

[venta online](#)

[AGREGAR AL CARR](#)

Fuente: www.construmart.cl

Figura 4-26. Precio tubo galvanizado 5" (Construmart).

Por lo tanto, considerando que el sistema necesita mínimo 3,30 metros de ducto liso, se deben adquirir 4 tubos, por lo que las opciones más convenientes son en Sodimac o Construmart, ya que en ambos locales comerciales el tubo de acero galvanizado de 5" tiene el mismo valor.

- Codo:

En el caso de este accesorio, el codo puede ser de acero galvanizado o de aluminio, y del mismo diámetro del ducto, ósea 5" de diámetro, pero como el sistema requiere que este sea flexible y móvil, el ducto debe ser corrugado, el cual forme un ángulo de 90°, por lo que existen las siguientes opciones en los locales comerciales:

1. Sodimac: Tubo corrugado de aluminio de 5" de diámetro (figura 4-27) el cual al ser flexible se puede expandir hasta un metro de largo, tiene un valor de \$7.260 por unidad, que equivale a 0,263 UF (Ficha técnica Anexo 7):



https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/665827/Tubo-corrugado-aluminio-5-?gclid=CjwKCAjw7MzkBRAGEiwAkOXexJDCZVq2xwZ8Fbg0VF-5WycBOS8_PPv632e2kn_...

¿Qué estás buscando?

Tubo corrugado aluminio 5" Dospel

MODELO: ALUFLEKS | SKU: 66582-7 | ★★★★★ 5.0 (1) | Compartir

Precio corresponde a tienda Sodimac Homecenter Cerrillos. El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

\$7.260 C/U

Acumulas: 48 CMR Puntos

Cantidad: 1

Agregar al carro | Agregar a mi lista

Calcula el valor de tu cuota CMR

Nº de cuotas	Valor cuotas
1	\$ 7.260

Costo Total Crédito: \$7.260
CAE: 0.00%

Disponibilidad y métodos de entrega

- Disponible para despacho a domicilio | Simular costo de despacho
- Disponible para retiro en tu tienda seleccionada | Ver tiendas disponibles
- Stock disponible en tiendas | Ver stock

Fuente: www.sodimac.cl

Figura 4-27. Precio tubo corrugado aluminio 5" (Sodimac).

2. Easy: Tubo corrugado aluminizado de 5" de diámetros (figura 4-28), el cual se puede expandir hasta un metro de longitud. Tiene un valor de \$3.290 por unidad, que equivale a 0,119 UF (Ficha técnica Anexo 8):

https://www.easy.cl/es/easy-chile/tubo-aa-5-corrugado-aluminizado-5-pulgadas-x-1-mt-isoflex-867016p

easy centro

Todas las categorías

Inicio > Tubo aa 5 corrugado aluminizado 5 pulgadas x 1 mt Isoflex

SKU: 867016P

Internet: \$3.290

Cantidad: **Agregar**

Revisar stock en tienda

Simula tu despacho [Ver opciones](#)

Retiro en Tienda [Ver opciones](#)

VALOR DE TU CUOTA CON TARJETA CENCOSUD

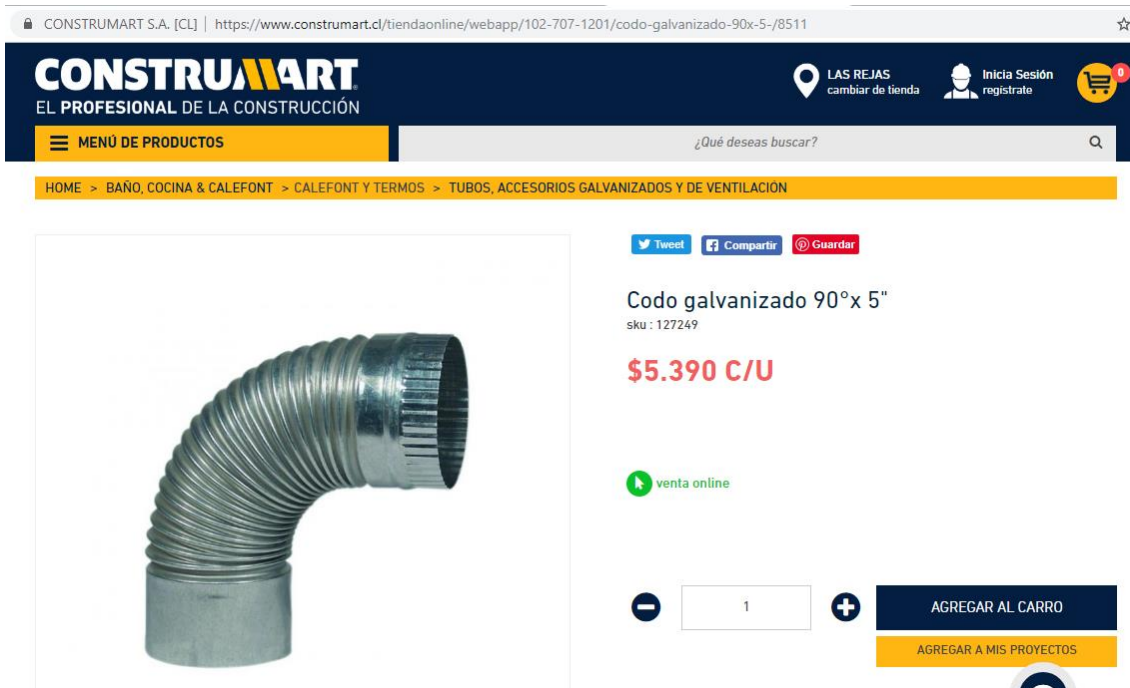
Garantía:	3 meses
Restricción de Despacho:	RM
Tipo:	Tubo corrugado aluminizado
Modelo:	Isoflex AA s/aislar 4" (L=1mt)
Color:	Aluminio
Ancho:	5"
Largo:	1 mt.
Origen:	Chile
Medidas:	5?? x 1 mt.
Diámetro:	127 Mm
Material:	Alambre de acero, láminas de aluminio
Hilo:	Acero

[Ver más](#)

Fuente: www.easy.cl

Figura 4-28. Precio tubo corrugado 5" (Easy).

3. Construmart: Codo galvanizado de 90° y de 5" de diámetro (figura 4-29), el cual tiene un valor de \$5.390 por unidad, que equivale a 0,196 UF, del cual solo se deberá adquirir una unidad (Ficha técnica Anexo 9):



Fuente: www.construmart.cl

Figura 4-29. Precio codo galvanizado 5" (Construmart).

Por lo tanto, entre las opciones, la mejor es el tubo corrugado aluminizado de 5" de diámetro, que se encuentra en Easy, ya que con este tubo se puede formar un codo de 90°, pudiéndose expandir hasta un metro de largo para llegar a ambos puntos de generación.

- Expansión y Contracción:

Estos accesorios al igual que la campana están diseñados específicamente para el sistema de ventilación, por lo que no se encuentra en locales comerciales expansiones ni contracciones con los diámetros requeridos.

Por esta razón, se cotiza en la "Hojalatería Torres" de Quillota la fabricación de ambos accesorios, que en dicho local, se nombraba a ambos accesorios como expansiones, con las siguientes características (figura 4-30):



Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Figura 4-30. Dimensiones expansión y contracción cotizada.

La fabricación de una expansión y una contracción tiene el valor de \$5.000 por cada una, lo que es equivalente a 0,181 UF, al igual que la campana el material con el que se confecciona este accesorio es de una plancha lisa de zinc, cuya cotización se encuentra en el Anexo 3.

- Ventilador:

El ventilador que se requiere para este sistema, como se mencionó anteriormente debe ser de tipo axial, ya que el flujo viaja en una sola dirección. Además estos equipos trabajan como extractores en línea con los conductos, por lo que son fáciles de unir al sistema.

Para seleccionar un ventilador adecuado, es importante considerar el caudal de captación del sistema y compararlo con el caudal máximo que puede trabajar el ventilador, y también se debe considerar la potencia establecida por los cálculos, ya que esta es la potencia mínima que requiere el sistema. Gracias a los cálculos realizados, se obtuvieron los siguientes factores claves (tabla 4-2):

Tabla 4-2. Factores claves del sistema de ventilación.

CAUDAL CAPTACION		POTENCIA VENTILADOR	
728 pie ³ /min	1.237 m ³ /h	0,20 HP	0,15 kW

Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Con estos datos, se determinó que el ventilador que cumple con lo requerido por el sistema, es un extractor en línea con conductos, con bajo nivel sonoro montados dentro de una envolvente acústica, cuyo modelo es el SV (figura 4-31) de la empresa SODECA:



SV

Fuente: <https://www.sodeca.com/es/productos/sv-p122?cs=6&fil=50#prod>

Figura 4-31. Modelo SV de SODECA.

De este tipo de extractor, hay una variedad de modelos de diferentes características, como el caudal máximo, la potencia eléctrica, los decibeles, el diámetro de conexión, entre otras, por lo que el modelo que más se ajusta a lo requerido es el SV-250/H, cuyas características se muestran en las figuras 4-32 y 4-33:

	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible 230V (A)	Potencia eléctrica máx. (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel sonoro irradiado dB(A)	Peso aprox. (Kg)	According ErP
SV-125/H	2720	0,65	0,14	400	32	5,2	2018
SV-125/H-T	2720	0,65	0,14	400	32	5,2	2018
SV-150/H	2580	1,00	0,23	560	40	6,8	2018
SV-150/H-T	2580	1,00	0,23	560	40	6,8	2018
SV-200/H	1400	0,75	0,12	880	44	8,0	2018
SV-200/H-T	1400	0,75	0,12	880	44	8,0	2018
SV-250/H	2500	0,85	0,20	1300	48	10,8	2018
SV-250/L	2000	0,75	0,13	1000	40	10,8	2018
SV-315/H	1400	0,65	0,13	2100	50	21,0	2018
SV-350/H	1400	0,95	0,22	2850	51	28,5	2018
SV-400/H	1350	1,80	0,39	3500	53	38,0	2018

Fuente: <https://www.sodeca.com/es/productos/sv-p122?cs=6&fil=50#prod>

Figura 4-32. Características técnicas del modelo SV.

SV

	A	B	C1	C2	øD1	L	øD2	EC1	EC2	T
SV-125/H	310	250	80	201	125	36,5	7	260	200	383
SV-150/H	370	290	92	222	150	34,5	7	320	240	439
SV-200/H	430	340	117	246	200	34,5	7	380	290	499
SV-250/H	480	395	140	296	250	51,5	7	430	345	583
SV-250/L	480	395	140	296	250	51,5	7	430	345	583
SV-315/H	565	490	173,5	370	315	55	8,5	515	440	675
SV-350/H	650	550	200	410	355	57	8,5	600	500	764
SV-400/H	725	610	200	454	400	70	8,5	675	560	865

Fuente: <https://www.sodeca.com/es/productos/sv-p122?cs=6&fil=50#prod>

Figura 4-33. Dimensiones en mm del modelo SV.

Este equipo tiene un valor de 315,60 € (Anexo 10) que equivale a \$240.026, por lo tanto son 8,707 UF. La empresa SODECA es de España, pero tiene una sucursal de ventas en Chile en la comuna de San Bernardo en Santiago, lo cuales se encargan de gestionar el envío desde la casa matriz.

Con las cotizaciones realizadas, el resumen de los costos de adquisición de los componentes del sistema de ventilación, es el siguiente (tabla 4-3):

Tabla 4-3. Resumen costos componentes del sistema.

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD (\$)	COSTO (\$)
Captación	1	12.000	12.000
Ductos	4	2.850	11.400
Codo	1	3.290	3.290
Expansión	1	5.000	5.000
Contracción	1	5.000	5.000
Ventilador	1	240.026	240.026
TOTAL COSTOS (\$)			276.716
TOTAL COSTOS (UF)			10,038

Fuente: Propuesta de diseño; elaboración propia.

Por lo tanto, la propuesta de diseño del sistema de ventilación de extracción localizada para la posible implementación en el laboratorio de minería y metalurgia tiene un valor aproximado de \$276.716 equivalente a 10,038 UF.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este estudio, se pudieron determinar los antecedentes generales del sector de conminución del laboratorio de minería y metalurgia de la Universidad Técnica Federico Santa María sede Viña del Mar, relacionado a la generación de material particulado, ya que en este espacio hay equipos que sirven para disminuir el tamaño de las rocas que contienen mineral para procesos posteriores, como es el chancador de mandíbulas y el molino de bolas, los cuales se utilizan 3 veces a la semana durante dos horas y media de clases, por lo que la problemática de este lugar, es que estas emisiones no están siendo controladas eficazmente, ya que no cuentan con un sistema de ventilación adecuado, solo existe ventilación natural, por lo tanto las partículas se disipan en el ambiente y entran al sistema respiratorio de las personas, lo cual puede causar daños en el organismo.

Al realizar las mediciones de este agente químico en el lugar de estudio, se registraron concentraciones de 11,30 mg/m³ para polvos totales y 15,06 mg/m³ para fracción respirable en el chancador de mandíbulas, y 7,91 mg/m³ para polvos totales y 10,67 mg/m³ para fracción respirable en el molino de bolas. Si bien es cierto, se debe cumplir que las concentraciones de polvos totales tienen que ser mayores que las concentraciones de fracción respirable, esto se pudo haber generado por una manipulación inadecuada en la toma de muestras, ya que los muestreos personales y ambientales se realizaron en periodos diferidos. Otro factor que pudo haber afectado a los resultados, fue que no se esperó el tiempo adecuado para llegar a peso constante de las muestras una vez finalizados los muestreos, por lo que no se eliminó completamente la humedad del ambiente ni de la manipulación.

Los resultados obtenidos en la evaluación sobrepasan y/o están muy cercanos a los límites permisibles ponderados indicados en el Decreto Supremo 594/2000 del Ministerio de Salud, en el artículo 66 que corresponden a 8 mg/m³ para polvos totales y 2,4 mg/m³ para fracción respirable, por lo que es evidente que existe riesgo higiénico. Debido a esto, es

necesario tomar medidas de control, para cumplir con lo indicado en la Constitución Política de la República de Chile (Artículo 19, Número 8), el Código del Trabajo (Libro III, Artículo 184), la Ley 16.744/68, el Decreto Supremo 40/1969, el Decreto Supremo 54/1969 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, entre otros cuerpos legales.

Por lo tanto un sistema de ventilación con extracción localizada es una medida de control de ingeniería que cumpliría con todo lo indicado en el DS 594/2000, ya que con este se evitaría que el particulado se disipara por el ambiente y que no ingrese al organismo de los estudiantes ni de los profesores.

La propuesta consiste en un sistema de ventilación con extracción localizada simple, ya que estará compuesto por una captación, ductos lisos y rígido, un codo flexible, una expansión, una contracción y el ventilador. Este sector no necesita un sistema de ventilación tan complejo, ya que las emisiones, si bien son altas, no son continuas en el tiempo. Por lo que lo ideal, es que al momento de utilizar los equipos de conminución, se haga funcionar el sistema.

El caudal requerido por el sistema es de 728,11 pie³/min (1.237 m³/h) y la potencia del ventilador debe ser mínimo de 0,20 HP (0,15 KW). Por lo tanto, el sistema de ventilación contará con una captación rectangular que se caracterizará por estar elevada, cuyas dimensiones serán de 40 x 20 cm (1,13 x 0,66 pies), esta se fabricará en un hojalatería, teniendo un valor de \$12.000 (0,435 UF). Dispondrá de aproximadamente 3,30 metros de ductos lisos y rígidos de 5" de diámetro, los cuales se pueden encontrar en locales comerciales como Sodimac o Construmart, teniendo un valor de \$2.850 (0,103 UF) por metro, por lo tanto se deberán adquirir 4 ductos, por lo que el total es de \$11.400 (0,414 UF). El codo tendrá un diámetro de 5", igual que los ductos, y deberá ser de tubo flexible y corrugado para llegar a los dos puntos de generación, ya que este tipo tubos se pueden expandir hasta un metro de longitud, el cual se encuentra en el local comercial Easy, teniendo un valor de \$3.290 (0,119 UF). La expansión y la contracción se deberán fabricar en la misma hojalatería que la captación, ya que el diámetro menor deberá ser de 5" y el

diámetro mayor de 10", por lo que tiene un valor de \$5.000 (0,181 UF) cada accesorio, por lo tanto saldrán en total \$10.000 (0,362 UF). Y por último el ventilador, deberá ser tipo tubo axial, con el fin de que el flujo transite de forma lineal, por lo que el modelo SV-250/H de SODECA, cumple con lo exigido, ya que trabaja a un caudal máximo de 765,15 pie³/min (1.300 m³/h) y tiene una potencia de 0,27 HP (0,20 KW), este equipo además se encuentra montado dentro de una envolvente acústica, por lo que es de bajo nivel sonoro (48 dB(A)), lo que no expondría a los estudiantes y profesores a niveles de presión sonora dañinos. Este equipo tiene un valor de \$240.026 (8,707 UF).

Por lo tanto se debe disponer de \$276.716 (10,038 UF), para adquirir los componentes necesarios de la propuesta del sistema de ventilación, para su posible implementación en el laboratorio de minería y metalurgia de la Sede Viña del Mar, de la Universidad Técnica Federico Santa María.

De acuerdo a lo indicado en la legislación chilena nombrada anteriormente, es importante el cuidado de la salud de las personas en áreas de trabajo, como es el caso del laboratorio, por lo que al existir fuentes emisoras de contaminantes se deben tomar medidas para controlarlas. Por lo que es recomendable la implementación del sistema de ventilación en este lugar de estudio, ya que las emisiones son altas, aunque no sean constantes, sobrepasan los límites permisibles ponderados. Además al implementar esta medida de control mantendrá las condiciones ambientales confortables para los estudiantes y profesores.

BIBLIOGRAFÍA

SUÁREZ, A., & Augusto, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10. Revista luna azul, (34). Recuperado el 2 de Septiembre de 2018

García, F.F. (2002). Determinación de la Concentración de Fondo y Distribución Espacial de PST en Santa Marta. Grupo de Control de la Contaminación Ambiental. Universidad del Magdalena, Colombia. Recuperado el 2 de Septiembre de 2018

CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA. (9 de Mayo de 2011). Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado el 2 de Septiembre de 2018, de Gobierno de Chile: <http://portal.mma.gob.cl/transparencia/mma/doc/D12.pdf>

Yepes, M. E. (2013). Prevención Integral. Recuperado el 2 de Septiembre de 2018, de <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2013/exposicion-laboral-material-particulado-nanoparticulas-su-incidencia-en-salud-trabajador>

Universidad Técnica Federico Santa María. (s.f). Recuperado el 3 de Septiembre de 2018, de <https://www.usm.cl/universidad/mision-vision-valores/>

Universidad Técnica Federico Santa María. (s.f). Recuperado el 3 de Septiembre de 2018, de <http://www.vinadelmar.usm.cl/universidad/sede/historia-2/>

Universidad Técnica Federico Santa María. (s.f). Recuperado el 3 de Septiembre de 2018 <http://www.vinadelmar.usm.cl/universidad/sede/unidades-academicas/>

Lozada, D. La conminución en la minería pequeña y artesanal en Ecuador.

Manual de toma de muestras de contaminantes químicos ambientales, del Instituto de Salud Pública de Chile.

Material académico de la asignatura de “Laboratorio de Higiene Industrial”, de Ingeniería en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales, modalidad vespertina, de la Universidad Técnico Federico Santa María, sede Viña del Mar, año 2017.

Material académico de la asignatura de “Ventilación Industrial”, de Ingeniería en Prevención de Riesgos Laborales y Ambientales, modalidad vespertina, de la Universidad Técnico Federico Santa María, sede Viña del Mar, año 2017.

ANEXOS**Anexo 1. Pesos iniciales de portafiltros:**

Portafiltro n°1



Portafiltro n°2



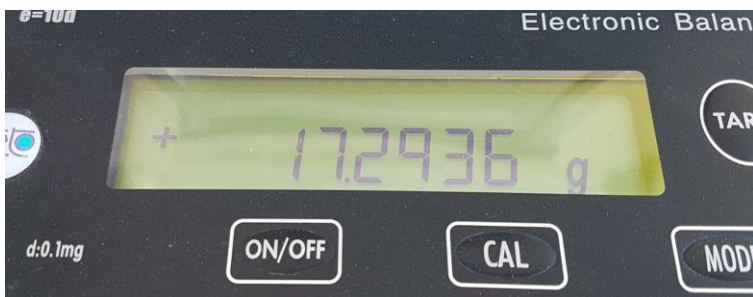
Portafiltro n°3



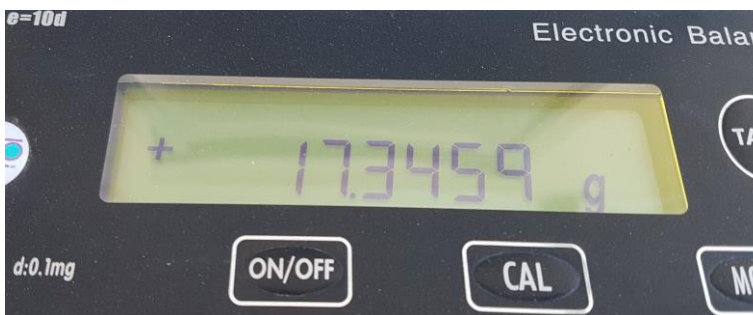
Portafiltro n°4

Anexo 2. Pesos finales de portafiltros:

Portafiltro n°1



Portafiltro n°2



Portafiltro n°3



Portafiltro n°4

Anexo 3. Cotización campana en "Hojalatería Torres":



"HOJALATERIA TORRES"

Hojalatería – Canales de aguas lluvias

Ductos de ventilación – Campanas

Carlos Valenzuela 1350 Villa México QUILLOTA

Celular +56981713238

CLIENTE	CONTACTO
CONSTANZA RUBILAR	88865250
CORREO	CIUDAD
ConstanzaRubilar.13@gmail.com.cl	QUILLOTA
DIRECCIÓN	TIPO DE PAGO
Calle Héroes de Concepción N°40	

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
1	Campana 40x20	1	12 000	12 000
2	Expansión 5" a 40"	2	5 000	10 000
3	Alcance 5'	6	1 000	6 000
4				
5				
			TOTAL	28 000

Anexo 4. Ficha técnica tubo acero galvanizado 5” de Sodimac:



[← Volver a resultados](#)

Tubo Acero galvanizado 5" 100x12,7x12,7 cm
SKU:364045

RECICLADOS Y
BIODEGRADABLES

\$2.850 C/U

Agrega

FICHA TÉCNICA

VOLVER

Atributo	Detalle
Características	Diseñado para la evacuación de gases y la combustión de aire acondicionado, estufas, calefón o extractores de aire
Diámetro	5 "
Largo	100 cm
Marca	Coyahue
Material	Acero galvanizado
Medidas	100x12,7x12,7 cm
Origen	Nacional
Uso	Doméstico
Color	Gris

Anexo 5. Ficha técnica tubo galvanizado 5” de Easy:

Inicio >

Tubo galvanizado 5" espesor 0,35 mm Aceros de la Rivera



+

-

↺



Alto producto:

100 cm

Ancho producto:

12,7 cm

Marca:

Aceros de la Rivera

Garantía:

3 meses

Diámetro:

5"

Material:

Acero galvanizado 0,35 mm
60% zinc

Indicaciones de uso:

Gasfitería y plomería

Características:

Posee un acabado de
rodonado estriado en su
extremo el cual le permite un
mejor acople a la tubería

+

Ver más

El tubo galvanizado de 5" y espesor 0,35 mm es utilizado para la Ventilación de cocinas a leña, estufas, y ventilación de aire a través de extractores eólicos. Posee un acabado de rodonado estriado en su extremo el cual le permite un mejor acople a la tubería.

Anexo 6. Ficha técnica tubo galvanizado 5" de Construmart:

CONSTRUMART  EL PROFESIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN	
FICHA TÉCNICA	
Atributo	Propiedades
Unidad de medida venta	C/U
Espesor (mm)	0,35 mm
Usos	Ventilación, aire acondicionado, calefont y extractores
Tipo de producto	Tubo galvanizado
Origen	Nacional
Diámetro (pulgadas)	5.0

Anexo 7. Ficha técnica tubo corrugado aluminio 5" Dospel de Sodimac:

	← Volver a resultados Tubo corrugado aluminio 5" SKU:665827	 \$7.260 C/U
	FICHA TÉCNICA	
Atributo	Detalle	
Características	Para la ventilación de aire acondicionado, campanas y extractores de aire	
Material	Aluminio	
Medidas	5"	
Marca	Dospel	
Uso	Doméstico/Profesional	
Largo	1 m	
Modelo	Alufleks	
Color	Plateado	

Anexo 8. Ficha técnica tubo corrugado 5" de Easy:



Garantía:	3 meses
Restricción de Despacho:	RM
Tipo:	Tubo corrugado aluminizado
Modelo:	Isoflex AA s/aislar 4" (L=1mt)
Color:	Aluminio
Ancho:	5"
Largo:	1 mt.
Origen:	Chile
Medidas:	5?? x 1 mt.
Diámetro:	127 Mm
Material:	Alambre de acero, láminas de aluminio
Hilo:	Acero

[+ Ver más](#)

Ducto flexible formado por un núcleo de alambre de acero resistente a la corrosión encapsulado dentro de dos láminas de aluminio. Estas láminas están adheridas entere si con un adhesivo de color negreen base a agua con retardarte a la llama. Isoflex AA, está diseñado para la provisión, retorno y ventilación en presión del calor bajo a medio, aire acondicionado y sistemas de ventilación

Anexo 9. Ficha técnica codo galvanizado 90° 5" de Construmart:



FICHA TÉCNICA

Atributo	Propiedades
Espesor (mm)	0,35 mm
Tipo de producto	Codo galvanizado
Unidad de medida venta	C/U
Diámetro (pulgadas)	5.0
Usos	Ventilación, aire acondicionado y extractores
Origen	Nacional

Anexo 10. Tarifas 2018 Modelo SV de SODECA:

COD.	Modelo	Velocidad (r/min)	Potencia eléctrica máx. (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel sonoro irradiado dB(A)	According ErP	PVP €
1028458	SV-125/H	2720	0,14	400	32	2018	206,80
1028460	SV-125/H-T	2720	0,14	400	32	2018	229,70
1028462	SV-150/H	2580	0,23	560	40	2018	247,10
1028464	SV-150/H-T	2580	0,23	560	40	2018	274,65
1028466	SV-200/H	1400	0,12	880	44	2018	296,25
1028468	SV-200/H-T	1400	0,12	880	44	2018	328,85
1028470	SV-200/L	1450	0,13	760	42	2018	292,20
1028472	SV-250/H	2500	0,20	1300	48	2018	315,60
1028473	SV-250/L	2680	0,13	1000	46	2018	314,00
1028475	SV-315/H	1400	0,13	2100	50	2018	513,90
1028477	SV-350/H	1400	0,22	2850	51	2018	657,15
1028479	SV-400/H	1350	0,39	3500	53	2018	881,35