



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Diseño de Sistemas de Ventilación Industrial para los Ambientes
de Trabajo de una Empresa Dedicada a la Elaboración y
Comercialización de Productos Cosméticos”

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Mario Andrés Pérez Gil

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2013

AGRADECIMIENTO

A todos aquellas personas que me brindaron su ayuda para la realización de esta Tesis. En especial al Ing. Francisco Andrade Sánchez y a mi hermana Cynthia Pérez Gil.

DEDICATORIA.

A MI PADRE MARIO PÉREZ
PÉREZ

A MI MADRE ROSA GIL TROYA

A MI HERMANAS SILVIA
PÉREZ GIL y CYNTHIA PÉREZ
GIL.

A TODOS ELLOS POR SU
INCONDICIONAL APOYO.

RESUMEN.

La presente tesis trata sobre el diseño de sistemas de ventilación industrial para una empresa dedicada a la elaboración y comercialización de productos cosméticos.

Se trabajó en conjunto con el personal de la empresa, considerando la materia prima que utilizan para los productos que se comercializan, y las condiciones de trabajo, y a partir de esto se presentaron propuestas de ventilación para mejorar las condiciones ambientales en dichas zonas y, de esta manera, mitigar los efectos en la salud que podrían experimentar los trabajadores al estar expuestos a sustancias características de este tipo de actividades.

Se diseñaron dos sistemas, uno de ventilación general o diluidora y otro de ventilación localizada por extracción. El sistema de ventilación diluidora es para la zona o sala de envasado de quita esmalte o acetona, y el de ventilación localizada por extracción es para la zona o sala de compactación de polvo cosmético.

En la sala de envasado del quita esmalte o acetona, se encontraron condiciones ambientales desfavorables para los trabajadores, con efectos como irritación de vistas, garganta, nariz, olores molestos, en otros, debido a

la recirculación de aire cargado de contaminantes que son generados por la evaporación de sustancias en un recinto cerrado. Por lo tanto, se presentó el diseño de un sistema de impulsión de aire y otro de extracción, mediante ductos, de tal forma que el caudal de aire que ingrese sea igual al caudal de aire que se extrae de la sala, consiguiendo así una renovación constante del aire para disminuir la concentración de olores y contaminantes, producto de la evaporación de las sustancias con las que se trabaja en esta sala.

Para la sala de compactación de polvo cosmético, se trabajó en el diseño de un sistema de ventilación localizada para la captación y recolección del polvo cosmético desperdiciado durante el proceso de compactación. El diseño cuenta con una campana, ductos, un equipo colector de material particulado y un ventilador. Se determinó el caudal de aire a extraer necesario en función de la aplicación y de las condiciones de compactación. Se determinaron las pérdidas en ductos, accesorios, campana, equipo colector y se seleccionó el ventilador.

Por último, se estimaron los costos iniciales de estos sistemas de ventilación relacionados a materiales, accesorios y equipos, además del costo energético, y un breve análisis entre el costo estimado del diseño y del beneficio a obtener.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. LA EMPRESA E IMPORTANCIA DE LA VENTILACIÓN INDUSTRIAL.	3
1.1 Descripción de la empresa.....	6
1.1.1 Productos que comercializa la empresa.....	7
1.1.2 Materia prima para los productos.....	9
1.1.3 Zonas de trabajo y almacenamiento de materia prima.....	17
1.2 Conceptos e importancia de la ventilación industrial.....	20
1.2.1 Tipos de ventilación industrial.....	24
1.2.2 La seguridad y salud ocupacional.....	26
1.3 Contaminantes y condiciones de trabajo en la empresa.....	30

1.3.1	Efectos debido a los contaminantes.....	37
1.4	Propuestas de los sistemas de ventilación para la empresa.....	39
1.4.1	Ventilación general para diluir contaminantes en la zona de elaboración de acetona.....	40
1.4.2	Ventilación por extracción para recuperar el polvo cosmético desperdiciado.....	45
1.4.3	Separación de sólidos.....	49

CAPÍTULO 2

2.	VENTILACIÓN DILUIDORA EN ZONA DE ELABORACIÓN DE ACETONA.....	65
2.1	Fundamentos de ventilación diluidora.	67
2.2	Elaboración de la acetona.....	77
2.3	Determinación de la tasa de generación del contaminante.....	80
2.4	Cálculo del flujo de aire necesario para diluir el contaminante.....	91
2.5	Distribución del aire.....	94

CAPÍTULO 3

3.	VENTILACIÓN POR EXTRACCIÓN PARA RECOLECCIÓN DE POLVO COSMÉTICO.....	110
3.1	Características del polvo.....	112
3.2	Diseño de forma del sistema de extracción.....	114
3.2.1	Diseño de la campana.....	115

3.2.2	Cálculo del caudal de aire a extraer.....	122
3.2.3	Ecuación de la energía y determinación de caídas de presión.....	125
3.2.4	Diseño del ciclón y de los ductos.....	136
3.2.5	Selección del ventilador.....	161

CAPÍTULO 3

4.	COSTOS.....	170
4.1	Costo de inversión.....	170
4.2	Costo energético.....	175
4.3	Análisis costo-beneficio.....	182

CAPÍTULO 5

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	184
----	-------------------------------------	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA.

ABREVIATURAS

μg	Microgramos
μm	Micrómetros
ppm	Partes por millón
PM	Peso molecular
atm	Atmósfera
m^3	Metros cúbicos
k	Kelvin
$kmol$	Kilomol
TLV	Threshold limit value. (Valor límite umbral)
h	Hora
min	Minuto
m	Metros
kg	Kilogramos
sg	Segundos
A	Área
Q	Caudal
v	Velocidad
L	Longitud
D	Diámetro
ft	Pies
ft^2	Pies cuadrados

<i>pulg</i>	Pulgadas
<i>ml</i>	Mililitros
<i>cm³</i>	Centímetros cúbicos
<i>Pa</i>	Pascales
<i>Kw</i>	Kilovatio
<i>Kwh</i>	Kilovatio hora
<i>hp</i>	Horse Power (Fuerza de caballo o caballo de fuerza)

SIMBOLOGÍA

$^{\circ}C$	Grados Celsius
μ	Micro
ΔP	Diferencial de presión
$^{\circ}$	Grado
$\%$	Porcentaje
ϕ	Diámetro
h_f	Pérdida de presión por fricción en cabezales
h_D	Cabezal o caída de presión dinámica
h_E	Cabezal o caída de presión estática
h_{TV}	Cabezal o caída de presión total

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Sala de Almacenamiento de Polvo Cosmético.....	10
Figura 1.2 Bodega de Almacenamiento de Alcoholes y Materias Primas	18
Figura 1.3. Ventilación General. Fuente, Manual Práctico de Ventilación Industrial. Salvador Escoda.....	25
Figura 1.4. Sistema de Ventilación Localizada.....	26
Figura 1.5 Efectos en Actividades Laborales. Fuente, Manual Básico de Prevención de Riesgos Laborales: Higiene Industrial, Seguridad y Ergonomía.....	31
Figura 1.6 Sala de Envasado de Acetona.....	33
Figura 1.7 Bodega de Materia Prima y Alcoholes.....	33
Figura 1.8 Sala de Acetona.....	35
Figura 1.9 Sala de Compactación.....	36
Figura 1.10 Planta Alta del Galpón.....	41
Figura 1.11 Esquema de Sala de Acetona.....	42
Figura 1.12. Esquema de Sala de Acetona con Ventilación Diluidora.....	44
Figura 1.13 Esquema del Sistema de Ventilación para Recolección del Polvo Cosmético.....	47
Figura 1.14. Cámara de Sedimentación. Fuente Iris Silva Castro, Msc Ing. de la Energía, Mitigación en Centrales Termoeléctricas A Carbón.....	53
Figura 1.15 Ciclón. Fuente, “Air Pollution Control: A Design Approach, CooperAnd Alley”.....	54
Figura 1.16. Eficiencia de Colección del Ciclón. Fuente “Diseño Óptimo de Ciclones, Carlos Alberto Echeverri Londoño, 2006.....	55
Figura 1.17 Torres de Lavado o Lavadores de Cámara Spray. Fuente, “Air Pollution Control: A Design Approach, Cooper And Alley”.....	57
Figura 1.18 Lavador Venturi. Fuente, “Air Pollution Control: A Design Approach, Cooper And Alley”	58
Figura 1.19 Filtro De Mangas. Fuente, “Air Pollution Control: A Design Approach, Cooper And Alley”	60
Figura 1.20 Precipitador Electrostático	62
Figura 2.1 Modelo Matemático de Ventilación Diluidora.....	72

Figura 2.2	Proceso de Elaboración y Comercialización de Acetona.....	80
Figura 2.3	Gráfico Volumen Acetato de Etilo Vs Tiempo	84
Figura 2.4	Gráfico Volumen de Alcohol Etilico Versus Tiempo.....	89
Figura 2.5	Esquema del Diseño de Ductos de Suministro y Extracción.	97
Figura 2.6	Esquema del Sistema de Impulsión de Aire.....	98
Figura 2.7	Filtro de Aire. Fuente Catálogo Técnico Salvador Escoda....	105
Figura 2.8	Esquema del Sistema de Extracción de Aire.....	107
Figura 3.1	Compactadora.....	111
Figura 3.2	Almacenamiento de Polvo.....	111
Figura 3.3	Esquema de Sistema de Ventilación para Recuperación de Polvo Cosmético.....	112
Figura 3.4	Sistema de Ventilación para Recolección de Polvo Cosmético.....	115
Figura 3.5	Campana Suspendida con Cortinas Aisladoras de la Zona de Trabajo.....	118
Figura 3.6	Campana Suspendida sobre una Fuente American Conference of Governmental Industrial Hygienists.....	119
Figura 3.7	Diseño de la Campana	121
Figura 3.8	Campana Suspendida	124
Figura 3.9	Campana Suspendida.....	137
Figura 3.10	Dimensiones de un Ciclón.....	139
Figura 3.11.	Eficiencia de Colección del Ciclón. Fuente "Diseño Óptimo de Ciclones, Carlos Alberto Echeverri Londoño, 2006.....	144
Figura 3.12	Eficiencia en Función del Diámetro de Partículas. Fuente, Air Pollution, Its Origin And Control, Wark, Warner, Davis.....	145
Figura 3.13	Dimensiones Del Ciclón. Fuente, Air Pollution Control: A Design Approach, Cooper And Alley.....	151
Figura 3.14	Campana y Mesa de Compactación.....	160
Figura 3.15	Energía Entregada por el Ventilador	165

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Propiedades Físicas del Alcohol Etílico.....	11
Tabla 2 Efectos del Alcohol Etílico Sobre la Salud.....	12
Tabla 3 Propiedades Físicas del Acetato de Etilo.....	14
Tabla 4 Efectos del Acetato de Etilo Sobre la Salud.....	15
Tabla 5 Evaporación del Acetato de Etilo.....	84
Tabla 6 Mínimos Cuadrados. Acetato de Etilo.....	87
Tabla 7 Evaporación del Alcohol Etílico.....	89
Tabla 8 Mínimos Cuadrados Alcohol Etílico.....	90
Tabla 9 Velocidades Sugeridas en Sistemas con Baja Velocidad. Fuente Systems And Equipment Ashrae Handbook & Product Directory.....	96
Tabla 10 Sistema de Impulsión de Aire. Sala de Envasado de Acetona	104
Tabla 11 Sistema de Extracción de Aire. Sala de Acetona.....	108
Tabla 12 Velocidades de Control o de Captura.....	123
Tabla 13 Características de Los Ciclones.....	140
Tabla 14 Dimensiones del Diseño del Ciclón.....	150
Tabla 15 Velocidades de Transporte o de Diseño.....	153
Tabla 16 Área Requerida para Ductos. Sistema de Impulsión.....	171
Tabla 17 Área Requerida para Ductos. Sistema de Extracción.....	171
Tabla 18 Dimensiones de Plancha Galvanizada.	173
Tabla 19 Costo Total. Sistema de Ventilación por Dilución.....	175
Tabla 20 Área de Material para Ductos. Sistema de Extracción para Recolección de Polvo.....	175
Tabla 21 Área de Material para Campana.....	176
Tabla 22 Costo Total del Sistema de Ventilación para Recolección de Polvo.....	177

ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1: Plano del Área Industrial de la Empresa
- Plano 2: Sala de Acetona y Sala de Compacto
- Plano 3: Sistema de Ventilación por Extracción

INTRODUCCIÓN

Las diversas actividades del sector industrial están sujetas a emisiones y procesos contaminantes que de una u otra manera afectan al ambiente y a los trabajadores, por lo que es de mucha importancia disponer de aire limpio y sin contaminantes en los ambientes de trabajo.

La exposición a sustancias y químicos empleados en la industria de los productos cosméticos traen consigo efectos negativos sobre los ambientes de trabajo y los trabajadores. La evaporación de muchas sustancias con cierto nivel de toxicidad, pueden cargar el ambiente con concentraciones que superan los niveles de seguridad provocando efectos adversos como irritación de garganta, ojos, piel, nariz, entre otros. Mediante la ventilación industrial se puede mitigar o controlar estos efectos por medio de sistemas que pueden ser de suministro, extracción o renovación de aire, y la aplicación de los mismos dependerá de las necesidades existentes.

La presente tesis trata sobre el diseño de sistemas de ventilación industrial aplicados a los espacios de trabajo de una empresa de productos cosméticos, con el objetivo de mitigar la contaminación de los espacios de trabajo debido a la evaporación de sustancias y manipulación de materia prima con efectos irritantes al ser humano.

Uno de los sistemas es de ventilación general para diluir olores y contaminantes molestos, mientras que otro sistema es de ventilación localizada para extraer material particulado esparcido como residuo de un proceso de compactación.

Con el diseño de estos sistemas, se presentan alternativas para los procesos seguidos en este tipo de industrias.

CAPÍTULO 1

1. LA EMPRESA E IMPORTANCIA DE LA VENTILACIÓN INDUSTRIAL.

Como empresa se entiende a la unidad económico-social, integrada por elementos humanos, materiales y técnicos, que tienen el objetivo de obtener utilidades a través de su participación en el mercado de bienes y servicios.

Las empresas se pueden clasificar según la actividad económica que ellas desarrollan. Así, las empresas del sector primario son consideradas aquellas que obtienen sus recursos directamente de la naturaleza, como por ejemplo recursos agrícolas, ganaderos, pesqueros. Las empresas del sector secundario son consideradas aquellas que se dedican a la transformación de bienes, es decir, el campo industrial y el campo de la construcción. Y las empresas del sector terciario son aquellas que se dedican a la oferta de servicios o al comercio, por ejemplo, distribuidores mayoristas, supermercados, consultorios médicos, entre otros.

Las empresas inmersas en el campo o sector industrial al estar enfocadas a procesos de transformación de materias primas para la producción de sus bienes, demandan de recursos humanos, materiales y técnicos para el cumplimiento de sus objetivos. Al escenario donde interactúan el elemento humano, maquinarias, equipos y materias primas se conoce como entorno o ambiente de trabajo.

Los procesos de transformación del sector industrial representan riesgos para la salud y el medio ambiente. Estos riesgos se manifiestan por la presencia en el lugar de trabajo de agentes químicos, físicos y biológicos, de factores ergonómicos y psicosociales perjudiciales, así como de condiciones laborales inseguras¹. La exposición a agentes o factores de riesgo, en forma individual o combinada, conlleva a accidentes y enfermedades ocupacionales, además de provocar impacto sobre el ambiente.

Estos riesgos a los que están sometidos los trabajadores en la industria son una realidad cotidiana². Elevar el nivel de protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados del trabajo mediante la aplicación de técnicas de prevención conduce a garantizar unas condiciones seguras o aceptables de trabajo.

¹ Tomado de La Higiene Ocupacional en América Latina. Una guía para su desarrollo. Rudolf Van der Haar 2001

² Ventilación Industrial. Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales. Ricardo Goberna 1992

Cuando los trabajadores de una industria están frecuentemente expuestos a sustancias químicas o calor, se hallan en situaciones de riesgos debido a los agentes químicos, físicos y biológicos, como es el caso de algunos recintos de trabajo de una empresa dedicada a la importación, producción y comercialización de productos cosméticos, de la ciudad de Guayaquil.

Los riesgos debido a los agentes ya mencionados pueden mitigarse mediante la aplicación de técnicas de Ventilación Industrial.

La Asociación Americana de Higiene Industrial define la Ventilación Industrial como “La ciencia y el arte dedicados al reconocimiento, evaluación y control de los factores ambientales y esfuerzos provenientes desde o hacia un puesto de trabajo, que pueda causar enfermedad, afectar la salud y el bienestar, o causar discomfort e ineficiencia en el desarrollo de las actividades profesionales del individuo”³

Los recintos de trabajo de la industria de producción de cosméticos están copados de sustancias químicas como disolventes, polvos, fragancias, alcoholes, y otras, pudiendo provocar un entorno sucio y contaminado, el mismo que se ve reflejado en condiciones de trabajo que pueden afectar la salud e higiene ocupacional de los trabajadores.

³ Curso de Ventilación Industrial. Ing. Mecánica FIMCP-ESPOL. Ing. Francisco Andrade. 2011

Es por esto que en este proyecto de Tesis se presentan posibles soluciones para mitigar los efectos contaminantes de dos entornos de trabajo de una empresa industrial dedicada a la producción y comercialización de cosméticos.

1.1. Descripción de la Empresa.

La empresa en cuestión produce y comercializa cosméticos en general, elabora las diferentes mezclas a partir de materia prima que adquiere para sus procesos y con estas mezclas prepara y produce perfumes, lociones, cremas, entre otros productos y; envasa los mismos en los recipientes y empaques respectivos quedando listos para el despacho y comercialización final.

A lo largo del tiempo ha manejado la comercialización para el Ecuador de muchas compañías internacionales y de igual manera ha conseguido licencias para fabricar localmente algunas marcas de firmas internacionales bajo los parámetros de calidad internacional.

Además cuenta con el servicio de fabricación de productos para terceros y además el servicio de maquila para compañías internacionales.

La empresa también produce los diversos cosméticos siguiendo los procedimientos de elaboración asignados por marcas internacionales con las cuales tiene sus convenios.

1.1.1. Productos que Comercializa la Empresa.

La empresa comercializa productos cosméticos. Un producto cosmético es toda sustancia o preparado destinado a ser puesto en contacto con las diversas partes superficiales del cuerpo humano, con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, modificar su aspecto y/o corregir los olores corporales y/o mantenerlos en buen estado. Como productos cosméticos se consideran cremas, lociones, maquillajes, perfumes, productos para el afeitado, aguas de colonia, desodorantes, productos para el cuidado bucal, geles, etc.

Los productos cosméticos que comercializa la empresa son:

- Maquillaje
- Fragancias
- Cuidado personal
- Productos para niños y bebés.

Por maquillaje se entiende la práctica de decorar la piel y otras partes visibles del cuerpo para obtener un aspecto más atractivo. El término maquillaje se ha extendido para designar también a los cosméticos que se emplean para dicha práctica tales como lápices de labio, sombras, polvos faciales.

Entre los productos para maquillaje la empresa comercializa polvo facial, labiales, rimmel, sombras.

Las fragancias o perfumes son sustancias que se usan para obtener un olor agradable. Entre las fragancias la empresa comercializa cremas perfumadas, colonias y perfumes con diversos aromas.

Los productos para el cuidado personal son considerados los jabones, productos de limpieza bucal, productos para afeitado, cremas de limpieza facial, etc. La empresa trabaja con productos como quita esmaltes, loción para el cuerpo, gel para baños, entre otros.

Finalmente los productos para bebés con los que trabaja la empresa son aquellos que se utilizan para su aseo, es decir, jabones para bebés, lociones para bebés, entre otros.

1.1.2. Materia Prima para los Productos.

La materia prima para los productos se presenta en estado líquido o sólido.

La materia prima en estado sólido es la que se utiliza en la producción de polvo cosmético facial.

Polvo

Al polvo se lo define como pequeñas partículas sólidas producidas por la ruptura de partículas de mayor tamaño mediante procesos mecánicos tales como molturación, perforación, pulido, explosiones, etc.

El polvo cosmético a su vez está conformado en su materia prima por seda pulverizada.

El polvo cosmético también, también denominado compacto debido a que es sometido a un proceso de compactación, está conformado por una fase grasa, denominada habitualmente “ligante” y por una fase pulverulenta que comprende en particular unos pigmentos o cargas. El ligante tiene como función principal garantizar la suficiente cohesión de la composición final y evitar posibles fragmentaciones que pueden ser provocadas por los choques, mientras que los

pigmentos o cargas le dan la propiedad para que la mezcla o producto pueda ser compactado.

En realidad, el polvo cosmético ya viene elaborado, en la empresa se procede a compactarlo y a empacarlo quedando listo para el despacho final.

El polvo facial es receptado y almacenado en las bodegas de la empresa. Llega almacenada en fundas, las mismas que permanecen depositadas en el interior de unos tachos, como muestra la figura 1.1



FIGURA 1.1 SALA DE ALMACENAMIENTO DE POLVO COSMÉTICO.

Este polvo permanece en la bodega un tiempo determinado hasta que es sometido al proceso de la compactación para confinarlo en una “pastilla cosmética”.

Este polvo resulta ser contaminante, su manipulación conlleva un constante esparcimiento y desperdicio del mismo en la bodega de almacenamiento, así como en la zona o recinto de trabajo.

Los perfumes, lociones, quita esmalte y demás productos son elaborados con materias primas líquidas, tales como:

- Agua
- Alcohol Etilico
- Colorantes
- Acetato de Etilo
- Filtro ultravioleta
- Fragancias

Agua.

El agua se utiliza en algunos procesos de mezclado para las sustancias.

Es imprescindible en muchos de los procesos de elaboración y por tal motivo se le da el correcto uso para aprovechar al

máximo sus propiedades tanto físicas como químicas al momento de ser sometida a mezclas con otras sustancias.

Alcohol etílico.

El Alcohol Etílico también conocido como Etanol es una sustancia utilizada como materia prima en una gran cantidad de productos que comercializa la empresa, tales como perfumes, colonias, lociones, entre otras. Su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$.

Entre sus propiedades físicas constan las siguientes:

TABLA 1
PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALCOHOL ETÍLICO

Estado físico	Líquido
Apariencia	Incoloro
Olor	Olor característico fragante
Temperatura de ebullición	78.3°C
Temperatura de fusión	-114.0°C
Densidad (Agua=1)	0.789 Kg/L a 20°C
Presión de vapor	44.3 mmHg a 20°C
Densidad de vapor (Aire=1)	1.59
solubilidad	Soluble en agua, cetonas, alcoholes

Además el alcohol etílico está acompañado de ciertos riesgos para la salud debido a efectos de sobreexposición.

TABLA 2
EFFECTOS DEL ALCOHOL ETÍLICO SOBRE LA SALUD

Inhalación	Irritaciones de nariz y tracto respiratorio. Dolor de cabeza, mareos, vértigos, náuseas, vómitos. Dificultad respiratoria y fatiga.
Contacto con la piel	Irritaciones leves.
Contacto con los ojos	Irritaciones.
Ingestión	Nocivo. Fallas respiratoria y circulatoria. Debilidad y pérdida de la conciencia.
Otros efectos	Irritaciones. Dermatitis en piel expuesta.

Colorantes.

Se llama colorante a la sustancia capaz de absorber determinadas longitudes de onda del espectro visible. Son sustancias que se fijan en otras sustancias y les definen color de manera estable ante factores químicos o físicos como por ejemplo lavados, agentes oxidantes, luz, etc.

Los colorantes son utilizados en productos alimenticios, farmacéuticos, textil, tintas de inyección, cosméticos y cuidado personal, entre otros.

En la industria cosmética los colorantes son de gran utilidad ya que el color es uno de los atributos más importantes en este tipo de productos y se clasifican en colorantes solubles y pigmentos.

Los colorantes solubles, como su nombre lo indica, pueden ser solubles en agua, alcoholes, aceites o en otros disolventes. Son utilizados en productos de higiene personal, cremas corporales, cremas de tratamientos de belleza, cremas solares, perfumes y lociones, o cualquier otro producto que requiera algún colorante soluble.

Los pigmentos son productos que no pueden disolverse en el medio en el cual se aplican y que dan color por dispersión.

Los colorantes solubles son muy utilizados en la empresa debido al tipo de productos que se comercializan y en su mayoría se presentan en estado sólido pulverulento. Son muy utilizados para los perfumes, colonias, lociones, quita esmalte, etc.

Acetato de Etilo.

El acetato de Etilo es un líquido incoloro con olor a frutas. Se lo utiliza como solvente, saborizante sintético y en la fabricación de perfumes y tinturas.

Entre sus propiedades físicas son las siguientes:

TABLA 3**PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACETATO DE ETILO**

Estado físico	Líquido
Apariencia	Incoloro
Temperatura de fusión	-83°C
Temperatura de ebullición	77°C
Densidad (Agua=1)	0.902 a 20°C
Presión de vapor	100 mm Hg a 27 °C
Solubilidad	Soluble en agua, acetona, etanol, cloroformo

Además el Acetato de Etilo está acompañado de ciertos riesgos para la salud debido a efectos de sobreexposición, los cuales se muestran en la tabla 4

TABLA 4
EFFECTOS DEL ACETATO DE ETILO SOBRE LA SALUD

Inhalación	Puede causar pérdida de conciencia, náuseas, dolor de cabeza
Contacto con la piel	Provoca resequedad, agrietamiento, sensibilización y dermatitis
Contacto con los ojos	Una exposición prolongada causa el oscurecimiento de las córneas
Ingestión	Irrita las membranas mucosas

Filtro Ultravioleta.

Los filtros ultravioleta son sustancias que forman parte de los productos para la protección solar y tienen la finalidad de filtrar ciertos rayos ultravioleta, con el propósito de proteger la piel de los efectos que pueden resultar dañinos.

Los filtros de radiación ultravioleta utilizados en cosméticos como productos de higiene personal, perfumes, lociones; tienen la finalidad de protegerlos de la degradación fotoquímica, es decir, de la degradación que puedan experimentar los productos debido a las transformaciones químicas provocadas por la emisión o absorción de luz visible o radiación ultravioleta.

Fragancias.

Las fragancias son aquellas sustancias aromáticas que se presentan en forma de aceites esenciales naturales o esencias sintéticas y que a partir de ellas se produce una mezcla junto con alcohol u otras sustancias para obtener los perfumes.

1.1.3. Zona de Trabajo y Almacenamiento de Materia Prima.

Para la producción de los cosméticos la empresa cuenta con los espacios de trabajo y bodegas para almacenar la materia prima así como también la respectiva bodega de producto terminado.

En las bodegas de almacenamiento de materia prima se tienen las diversas sustancias y productos para la elaboración de los cosméticos. En unas se almacenan sustancias como alcohol desnaturalizado, alcohol etílico, acetato de etilo, fragancias, mientras que en otras se almacenan el polvo cosmético, además de frascos, cartones, empaques y materiales para acondicionamiento general de los productos.

Las bodegas de almacenamiento acogen sustancias consideradas peligrosas para la salud así como también inflamables, tal es el caso del Acetato de Etilo. Es por esto que las bodegas se encuentran acondicionadas a ambientes con temperaturas relativamente bajas con respecto de la temperatura ambiente y cuenta con equipos de seguridad industrial como extintores, además de la debida presencia de señales de seguridad industrial. La manipulación de estas sustancias se la hace utilizando los equipos de seguridad industrial necesarios para proteger al trabajador. La figura 1.2 muestra fotos de las bodegas de almacenamiento de materia prima.



FIGURA 1.2 BODEGA DE ALMACENAMIENTO DE ALCOHOLES Y MATERIAS PRIMAS

Con respecto a las zonas de trabajo, se tienen a la zona de Envasado y Fabricación, que es donde se realizan las mezclas para la elaboración de los perfumes; la zona o Área de Acondicionamiento en donde se empaacan los productos; la zona o Sala de Compactación, en donde se producen las cajas de polvo compacto, el Área de Codificado; la Sala de Elaboración de Acetona, entre otras.

En estas zonas de trabajo, los trabajadores están expuestos a agentes y/o factores de riesgo al estar en contacto con sustancias tóxicas, irritantes, explosivas; por lo que utilizan guantes, mascarillas, mandiles con el fin de mitigar los efectos de las sustancias peligrosas, al mismo tiempo que se pretende mantener la asepsia de las sustancias que se utilizan como materia prima para la elaboración de los productos. Sin embargo, la protección personal de los trabajadores no siempre es suficiente en algunas zonas de trabajo, ya que en ellas se presentan contaminantes que son generados por la propia actividad de la producción de cosméticos. Debido a esto, el ambiente de estas zonas de trabajo se encuentra con contaminantes gaseosos y de material particulado, como por ejemplo la zona o Sala de

Compactación en donde la actividad genera desperdicio y esparcimiento del polvo que termina contaminando dicho ambiente de trabajo, y la sala de elaboración de acetona, en la que la generación de contaminantes se da por motivo de la evaporación de sustancias peligrosas.

Para hacer frente a estos problemas de contaminación, se recurre a la Ventilación Industrial mediante la cual se pretende presentar posibles soluciones a los problemas de contaminantes ya mencionados.

1.2. Conceptos e Importancia de la Ventilación Industrial.

Un concepto se considera como la opinión, o punto de vista que uno en lo personal tiene de una cosa, animal o persona. Un concepto se postula en base de las construcciones o imágenes mentales, por medio de las cuales comprendemos las experiencias que emergen de la interacción con nuestro entorno. Partiendo de esto, uno de los conceptos que se tienen de la ventilación industrial es el flujo de aire utilizado para disponer de un ambiente de trabajo limpio y sin contaminantes, además de combatir elevadas temperaturas.

La ventilación se entiende como aquella técnica que permite sustituir el aire ambiente interior de un local, considerado inconveniente por su falta de pureza, temperatura inadecuada o humedad excesiva, por otro exterior de mejores características.⁴

Los conceptos que se tengan sobre la ventilación industrial pueden ser variados y dependerán o estarán enfocados a cierta situación con respecto a la cual se desee proveer o extraer una corriente de aire.

Sin embargo resulta útil definir la ventilación industrial de forma general abarcando todos sus campos de acción posibles.

La Asociación Americana de Higiene Industrial, AIHA por sus siglas en inglés, define la ventilación industrial como la ciencia y el arte dedicados al reconocimiento, evaluación y control de los factores ambientales y esfuerzos provenientes desde o hacia un puesto de trabajo, que pueda causar enfermedad, afectar la salud y el bienestar, o causar discomfort e ineficiencia en el desarrollo de las actividades profesionales del individuo.

⁴ Manual Práctico de Ventilación Industrial. Salvador Escoda. Segunda Edición.

Entonces el objetivo de la ventilación industrial es mantener la calidad del aire en los lugares de trabajo, en condiciones adecuadas para la protección de la salud de los trabajadores. De esta manera se contribuye al bienestar físico y a incrementar la eficiencia en la actividad desarrollada.

La ventilación industrial es importante porque permite la aplicación de técnicas para solucionar problemas de exposición a excesivo calor y a agentes químicos o contaminantes de los ambientes de trabajo. Como contaminantes se refiere a cualquier sólido, líquido o gas que esté presente en el aire en un nivel de concentración y duración tal que cause algún efecto negativo y medible sobre la salud de los trabajadores.

Debido a esto, mantener los ambientes de trabajo en condiciones favorables beneficia tanto al trabajador como a las instituciones o empresas que son quienes deben velar por el bienestar de sus empleados en los ambientes de trabajo.

La ventilación resuelve funciones vitales como la provisión de oxígeno para la respiración de las personas y el control del calor que ellas producen, al mismo tiempo que mitiga las condiciones de

disconfort afectando la temperatura del aire, la humedad, velocidad del mismo y dilución de olores indeseables.

Los procesos industriales afectan la calidad del aire contaminándolo de cierto modo. Los contaminantes industriales pueden presentarse en estado sólido, líquido o gaseoso. La ventilación industrial trata con contaminantes sólidos y gaseosos.

Los contaminantes sólidos pueden ser polvos y partículas sólidas en general. Estos contaminantes suelen ser irritantes, tóxicos, alérgicos, sustancias que producen fiebre. Los polvos pueden ser mineral, vegetal o animal como por ejemplo arcilla, harinas y lana, respectivamente.

Entre los contaminantes gaseosos se incluyen los vapores de sustancias que normalmente se encuentran en estado líquido. Estos contaminantes son irritantes, asfixiantes, sustancias volátiles.

Dependiendo del contaminante, se debe elegir entre dos clases de ventilación industrial, como son ventilación general o la ventilación localizada.

1.2.1. Tipos de Ventilación Industrial.

La ventilación industrial puede clasificarse como ventilación general o ventilación localizada.

Ventilación General.

También conocida como ventilación diluidora. La ventilación general busca la renovación y control del aire en la totalidad de un ambiente. La ventilación general hace referencia al suministro o extracción de aire de una zona, local o edificio, mediante ventiladores o extractores de aire, como muestra la figura 1.3

Puede a su vez clasificarse en ventilación por dilución o ventilación de control térmico.

La ventilación por dilución consiste en la dilución de aire contaminado con aire sin contaminar, con el objetivo de controlar riesgos de explosión, de incendio, riesgos para la salud, olores y contaminantes molestos. Se requiere diluir la concentración de contaminantes por debajo de ciertos estándares internacionales.

La ventilación de control térmico se basa en el control de condiciones ambientales en entornos industriales muy

calurosos, como por ejemplo fundiciones, panaderías, lavanderías, etc, con el objetivo de prevenir daños y molestias.

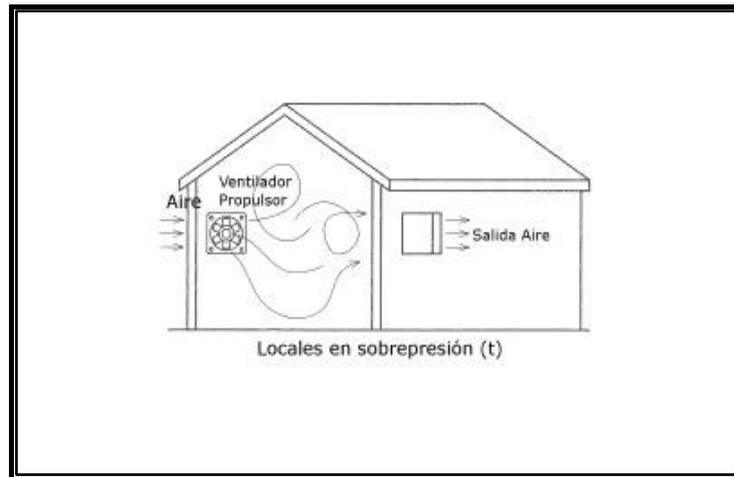


FIGURA 1.3. VENTILACIÓN GENERAL. FUENTE, MANUAL PRÁCTICO DE VENTILACIÓN INDUSTRIAL. SALVADOR ESCODA.

Ventilación localizada.

La ventilación localizada se centra en la evacuación de contaminantes en su propia fuente de origen. El aire contaminado es captado en el mismo lugar que se produce evitando su difusión por todo el local. Estos contaminantes pueden ser gases, vapores, partículas sólidas.

Por lo general la ventilación localizada viene acompañada de un sistema de extracción que consiste de una campana o

equipo que captura el contaminante, una red de ductos para transportarlo hasta un sumidero, un ventilador para poder succionar los contaminantes desde el punto de generación hasta el sumidero exterior, y en algunos casos un equipo de tratamiento o purificador del aire, como muestra la figura 1.4

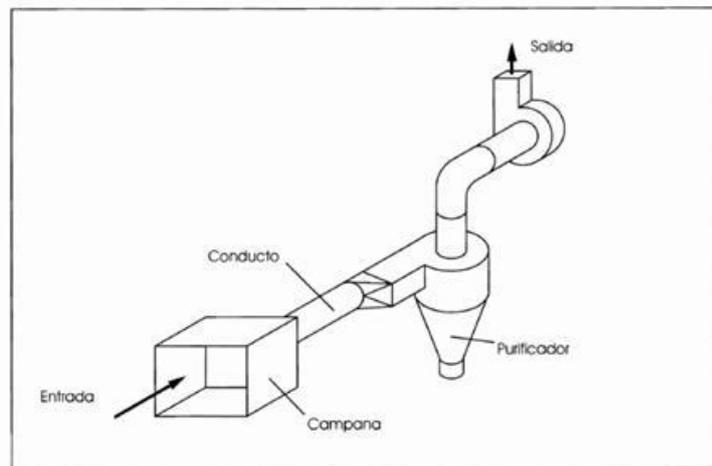


FIGURA 1.4. SISTEMA DE VENTILACIÓN LOCALIZADA

1.2.2 La Seguridad y Salud Ocupacional.

Las diversas actividades inmersas en el desarrollo de la sociedad como la producción de alimentos, extracción de materia prima, producción de bienes, prestación de servicios y productos en general, implican procesos, operaciones, materiales y equipos que de una u otra manera representan

riesgos para la salud y el medio ambiente. Estos riesgos se manifiestan por la presencia de agentes químicos, biológicos, físicos, de factores ergonómicos perjudiciales al igual que condiciones laborales inseguras.

La exposición de los agentes y/o factores de riesgo, en forma individual o combinada, conlleva un número inaceptable de accidentes y enfermedades ocupacionales, así como un grave impacto sobre el ambiente.⁵

La exposición a estos riesgos es contrarrestada mediante la higiene y salud ocupacional. La Organización Mundial de la Salud (OMS), define la higiene ocupacional como la ciencia de la anticipación, reconocimiento y evaluación de riesgos y condiciones perjudiciales en el ambiente laboral, así como del desarrollo de estrategias de prevención y control, con el objetivo de proteger y promover la salud y el bienestar de los trabajadores, salvaguardando también la comunidad y el medio ambiente en general.

La higiene ocupacional tiene como objetivo la protección y promoción de la salud y el bienestar de los trabajadores

⁵ La Higiene Ocupacional en América Latina. Una Guía para su desarrollo 2001.

mediante acciones preventivas y de control en el ambiente de trabajo.

El termino salud ocupacional se refiere al equilibrio físico, psíquico y social de un individuo en el entorno laboral.

La seguridad y salud ocupacional pueden diferenciarse de la siguiente manera: la seguridad se ocupa de los efectos agudos de los riesgos, en tanto que la salud trata los efectos crónicos.

Un efecto agudo es una reacción repentina ante un estado grave mientras que un efecto crónico se refiere a un deterioro a largo plazo, debido a una exposición prolongada a un agente o situación adversa. Por ejemplo la exposición a polvos se considera un riesgo agudo que causa enfermedades respiratorias, pero también puede considerarse como un riesgo crónico debido a que una exposición a largo plazo puede resultar en daños permanentes al sistema respiratorio.

Muchas exposiciones a agentes contaminantes pueden tener efectos agudos como crónicos, por lo tanto, riesgos de seguridad y salud.

Las acciones preventivas para el control del ambiente de trabajo se llevan a cabo mediante la higiene industrial, que es en sí, higiene ocupacional.

La higiene industrial se define como una técnica no médica de prevención de las enfermedades profesionales, mediante el control en el medio ambiente de trabajo de los contaminantes que las producen. La higiene industrial se ocupa de las relaciones y efectos que produce el contaminante sobre el trabajador en el lugar de trabajo.⁶

El objetivo de la higiene industrial es prevenir las enfermedades profesionales reconociendo, evaluando y controlando los factores ambientales del trabajo.

Una enfermedad profesional se define como un deterioro lento y paulatino de la salud del trabajador producido por una exposición continuada a situaciones adversas, entre ellas contaminantes.

Entonces, mediante la salud e higiene ocupacional se pretende evaluar los riesgos a los que está sometido el trabajador, así como también proporcionar los medios

⁶ Manual Básico de Prevención de Riesgos Laborales: Higiene Industrial, Seguridad y Ergonomía. Sociedad Asturiana de Medicina y Seguridad en el Trabajo y Fundación Médicos Asturias.

necesarios para protegerlo de potenciales daños, agudos o crónicos de la salud, debido a la exposición del trabajador a sustancias contaminantes.

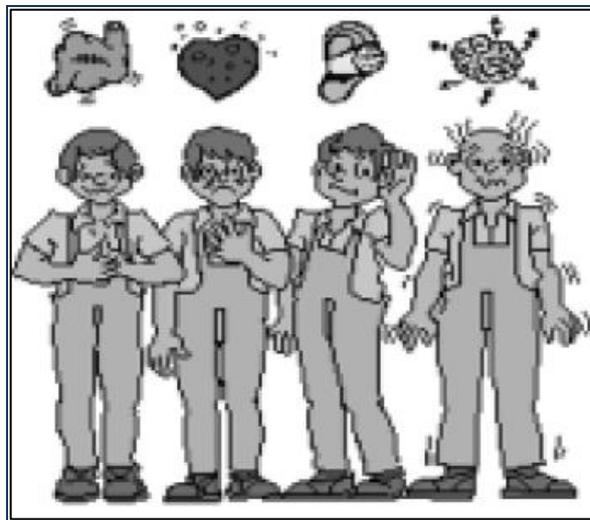
Existen instituciones dedicadas a la salud e higiene ocupacional como por ejemplo la SESO, Sociedad Ecuatoriana de Seguridad, Salud Ocupacional y Gestión Ambiental, la OSHA, Administración para la Salud y Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos de América, por sus siglas en inglés, las mismas que tienen como misión asegurar la salud de los trabajadores para que éstos puedan tener un lugar de trabajo seguro e higiénico.

1.3 Contaminantes y Condiciones de Trabajo en la Empresa.

El desarrollo de actividades laborales provoca modificaciones en el ambiente de trabajo que generan estímulos agresivos para la salud de los trabajadores. Estos estímulos reciben el nombre de contaminantes, los mismos que pueden aparecer como porciones de materia o como manifestaciones energéticas de diversa índole, y su presencia en el entorno laboral da lugar a lo que se conoce como riesgo higiénico, el cual puede definirse como la probabilidad de sufrir alteraciones en la salud por la acción de los contaminantes durante la realización de un trabajo.

Los contaminantes pueden ser químicos, agentes físicos nocivos, contaminantes biológicos.

Un contaminante químico es toda sustancia que al ser manipulada, puede incorporarse al ambiente y penetrar en el organismo humano provocando efectos nocivos para la salud de las personas que entran en contacto con él. Es toda porción de materia inerte en estado sólido, líquido o gaseoso, cuya presencia en la atmósfera de trabajo puede provocar alteraciones a la salud de las personas expuestas. Entre los contaminantes químicos se tienen a los polvos finos, humos, nieblas, gases, vapores, líquidos irritantes, etc.



**FIGURA 1.5 EFECTOS EN ACTIVIDADES LABORALES.
FUENTE, MANUAL BÁSICO DE PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES: HIGIENE INDUSTRIAL, SEGURIDAD Y
ERGONOMÍA**

Los agentes físicos nocivos son manifestaciones energéticas, cuya presencia en el ambiente de trabajo puede originar riesgo higiénico, por ejemplo ruido, calor, vibraciones, variaciones de la presión, etc.

Por contaminante biológico se entiende a toda porción de materia viva como virus, hongos, bacterias, etc, cuya presencia en el ámbito laboral puede provocar efectos adversos en la salud de las personas con las que entran en contacto.

Como ya se ha mencionado, una actividad laboral puede estar ligada a la exposición de diferentes tipos de contaminantes dependiendo el campo de acción laboral. En el campo o sector industrial, en donde los procesos y actividades tienen como objetivo la transformación de las materias primas en productos elaborados, es donde frecuentemente los trabajadores están expuestos a la contaminación de su ambiente de trabajo. El problema de la contaminación envuelve tres elementos principales que son: el proceso industrial y su frontera, el aire atmosférico y el ser humano.

La empresa en cuestión al estar enrolada en la industria de los cosméticos no se escapa a los problemas de contaminación que tienen que ver con la interacción del aire atmosférico y el ser humano, además del mismo proceso industrial y su frontera. Los procesos de la industria cosmética emanan contaminantes como

polvos, vapores, líquidos irritantes, inflamables, entre otros. Estos contaminantes son contrarrestados mediante el uso de accesorios y prendas de protección personal como mascarillas, guantes, mandiles, cofias, botas, gafas industriales, etc, como se observa en las figuras 1.6 y 1.7



FIGURA 1.6 SALA DE ENVASADO DE ACETONA.



FIGURA 1.7 BODEGA DE MATERIA PRIMA Y ALCOHOLES.

En la empresa, los trabajadores permanecen con sus prendas y accesorios de protección personal durante la jornada laboral, sin embargo el entorno está cargado de olores irritantes debido a la manipulación de ciertas sustancias como acetato de etilo, alcohol etílico, colorantes, fragancias así como también de polvo cosmético que se sedimenta por gravedad y se esparce por paredes y pisos de las zonas de trabajo y de las bodegas.

Entre las zonas de trabajo de la empresa, cabe mencionar la zona de elaboración de acetona ⁷ y la sala de compactación de polvo cosmético.

La sala de elaboración de acetona cuenta con dos acondicionadores de aire y no posee ventanas. En la elaboración de acetona se utiliza acetato de etilo, una sustancia considerada peligrosa para la salud. En este recinto trabajan en la elaboración de la acetona en promedio tres días por semana en jornadas de ocho horas diarias. No hay renovación de aire sino únicamente una recirculación del mismo, que está cargado de contaminantes producto de la evaporación del acetato de etilo y demás sustancias.

El olor que se percibe es considerable así como también los efectos de irritación de nariz, piel, ojos y garganta. Si bien es cierto los

⁷ De aquí en adelante, cuando se mencione la palabra acetona, se refiere a removedores de esmalte de uñas, más a no a la acetona como sustancia química presente en la naturaleza.

trabajadores permanecen con los implementos de protección personal, los efectos de estar expuestos ocho horas al día a un ambiente concentrado de sustancias peligrosas hace que la jornada se vuelva fatigante e incómoda. La figuras 1.6 y 1.8 muestran fotos de la sala de acetona.



FIGURA 1.8 SALA DE ACETONA

Con respecto a la sala de compactación, ésta cuenta con un acondicionador de aire. El polvo es receiptado como materia prima y es compactado en recipientes característicos para este producto. La compactación es una actividad que genera mucho desperdicio de polvo, el mismo que se esparce por el piso y paredes llegando hasta el acondicionador de aire de la habitación que lo hace recircular en la misma, además de que hay desperdicio de materia

prima. Este polvo se introduce en el equipo de acondicionamiento de aire provocando molestias en su funcionamiento y como producto de esto, el equipo no trabaja a óptimas condiciones, teniendo como resultado constantes paradas para su mantenimiento a la vez que impulsa aire cargado con polvo. El polvo esparcido por la habitación la vuelve una zona hostil para laborar debido al ambiente contaminado. En la tarea de compactación del polvo laboran tres personas en jornadas de ocho horas al día, en promedio de tres días por semana, las mismas que están expuestas a este tipo de material.



FIGURA 1.9 SALA DE COMPACTACIÓN.

La constante exposición al acetato de etilo, fragancias, alcoholes y más sustancias, al igual que el polvo cosmético, puede traer

efectos adversos para la salud de los trabajadores, de los cuales algunos de ellos se detallan a continuación.

1.3.1 Efectos debido a los Contaminantes.

Los efectos que pueden aparecer al tratar con sustancias peligrosas son diversos y depende de la sustancia así como también de la frecuencia de exposición. Entre las sustancias peligrosas podemos mencionar al acetato de etilo.

El acetato de etilo está en la lista de sustancias peligrosas ya que está reglamentado por varios organismos como la OSHA que es la Administración de Salud y Seguridad en el trabajo por sus siglas en inglés, por la ACGIH que es la Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales por sus siglas en inglés, por la NIOSH que es el Instituto Nacional para la Salud y Seguridad en el Trabajo por sus siglas en inglés, entre otras.

La exposición al acetato de etilo a niveles elevados puede producir mareo, sensación de desmayo, además el contacto repetido puede causar sequedad y grietas en la piel. La exposición a largo plazo puede afectar al hígado y al riñón,

además es posible que disminuya la fertilidad en los hombres.

Con respecto al alcohol etílico los efectos de sobreexposición pueden ser por inhalación causando irritaciones de nariz y tracto respiratorio, dificultad respiratoria y fatiga, dolor de cabeza, mareos, náuseas, vómitos. Al contacto con la piel provoca irritaciones. No hay evidencias de que sea cancerígeno.

Las elaboración de las diferentes fragancias, colonias, perfumes, también representan riesgos debido a sus composiciones químicas como agua, alcoholes, colorantes, fragancias. Por ejemplo al trabajar con la mezcla y elaboración de colonias y perfumes, se tienen efectos de exposición como irritación de nariz y garganta, irritación ocular. A repetidas exposiciones puede causar daños en los pulmones, anomalías hepáticas.

La exposición a polvo cosmético trae consigo problemas respiratorios, irritación ocular, irritación de garganta, irritación de nariz.

Las medidas de control ante la exposición recomendadas por las hojas de seguridad de las sustancias son trabajar con buena ventilación, utilizar campanas de extracción localizada, aplicar procedimientos de trabajo seguro, utilizar elementos de protección personal asignados.

Considerando los efectos de la exposición a sustancias peligrosas y contaminantes, y ante las condiciones de trabajo en la sala de compactación y en la sala de elaboración de acetona, se presentan propuestas para mitigar la contaminación ambiental en estos recintos.

1.4. Propuestas de los Sistemas de Ventilación para la Empresa.

Se han presentado los recintos de trabajo de la sala de compactación y de la sala de elaboración de acetona como ambientes en donde las personas están en contacto con sustancias peligrosas y que dichas sustancias terminan contaminando el aire, cargándolo de polvo, olores debido a la evaporación de acetato de etilo y más sustancias. Además, estas salas no cuentan con la suficiente ventilación ya que tienen acondicionadores de aire de ventana manteniendo las habitaciones cerradas sin la debida renovación del aire, lo que trae como resultado una recirculación de

aire contaminado. Debido a que esta es una situación en la que los trabajadores están expuestos a sustancias químicas, la solución a los problemas presentados puede conseguirse mediante aplicación de técnicas de Ventilación Industrial.

Por lo tanto, se presenta una propuesta de ventilación industrial para la sala de elaboración de acetona y otra para la sala de compactación.

1.4.1. Ventilación General para Diluir Contaminantes en la Zona de Elaboración de Acetona.

El área de producción de la empresa es un galón, el mismo que se muestra en el plano de Ingreso y Flujo de Personal, anexado en el índice de planos, en donde sobre el área de acondicionamiento, las bodegas de materia prima y alcohol desnaturalizado; se encuentra una segunda planta que contiene a la sala de acetona, la sala de compactación, y otras bodegas. La planta alta consiste solamente de estas salas y las bodegas mencionadas. El esquema de la planta alta del galpón se muestra a continuación.

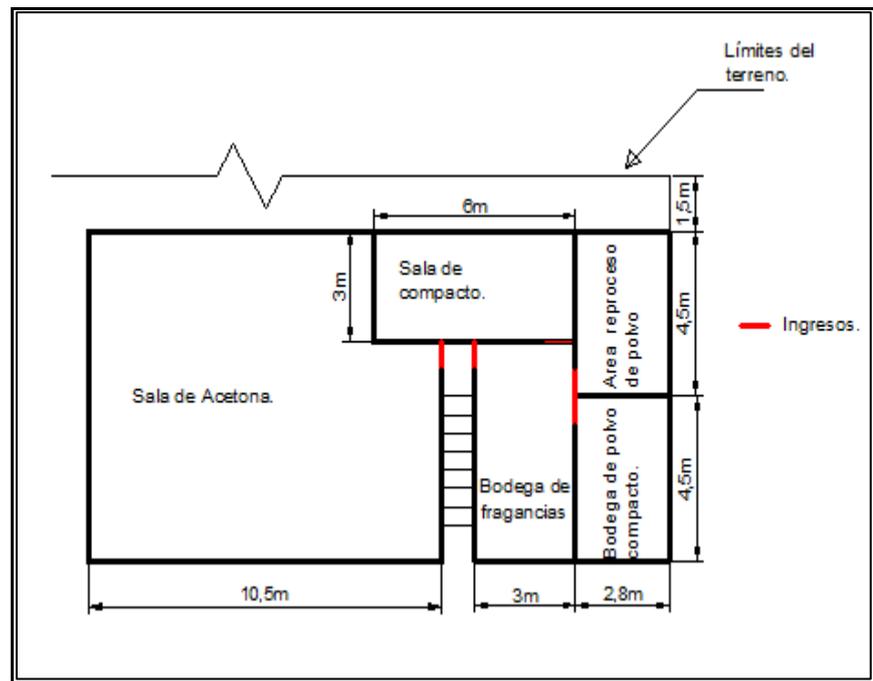


FIGURA 1.10 PLANTA ALTA DEL GALPÓN.

La zona o sala de elaboración de acetona, es una habitación con una superficie aproximada de 10.5m x 9m y una altura de 2.80m. En la figura se muestra un esquema de la misma.

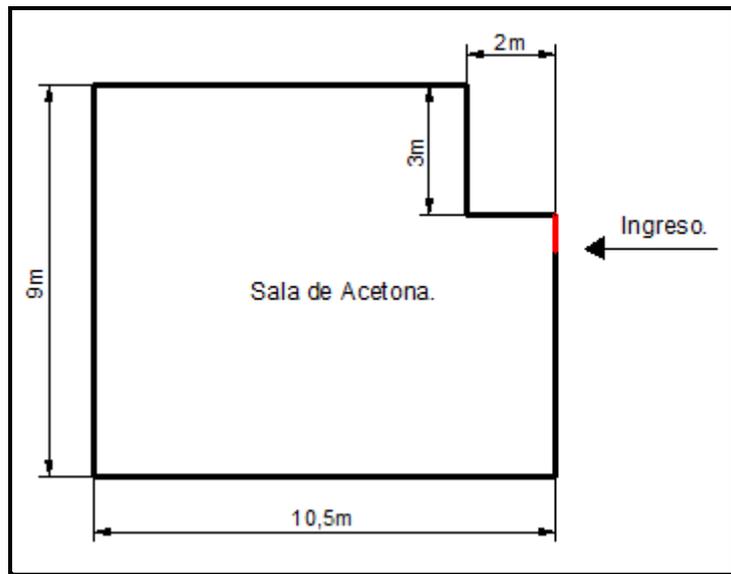


FIGURA 1.11 ESQUEMA DE SALA DE ACETONA.

En ella se realizan diversas mezclas y sobretodo se trabaja elaborando la acetona. La acetona es un líquido incoloro, de olor característico agradable, volátil y sus vapores son más pesados que el aire. Es utilizada como disolventes de grasas, aceites, barnices además se la utiliza en la elaboración de removedores de pintura, entre otros usos. El término acetona que se menciona aquí hace referencia al tradicional *quitaesmalte de uñas*.

Para la elaboración de la acetona y más productos se requieren de varias sustancias como agua, acetato de etilo, fragancias, colorantes, entre otros, por lo que las personas

están expuestas a situaciones de riesgo debido al tipo de sustancias con las que laboran.

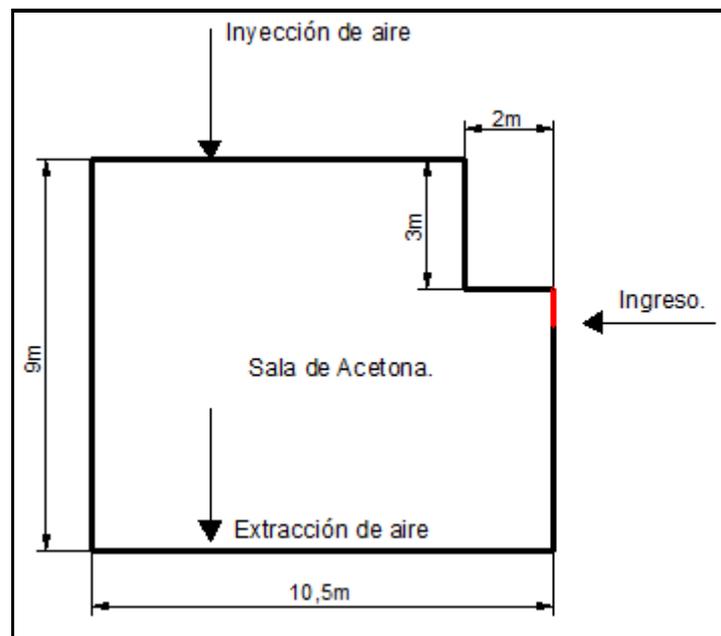
Por lo tanto, se presenta una alternativa para diluir los contaminantes presentes en el ambiente interior de la sala de elaboración y envasado de acetona utilizando ventilación general o diluidora.

Al utilizar este tipo de ventilación lo que se pretende es diluir los contaminantes presentes en el aire por debajo de un límite permitido, de tal manera que se puedan brindar condiciones seguras de trabajo así como también disminuir los efectos de exposición a los que están sometidos los trabajadores, efectos que se intensifican al no contar con una adecuada ventilación en el recinto.

El objetivo es suministrar a la sala un determinado caudal de aire exterior no contaminado y de esa manera diluir los contaminantes atmosféricos presentes por la evaporación de las sustancias, y extraer el mismo caudal de aire de la sala, de tal manera que el aire pueda constantemente renovarse. Para el suministro y extracción de aire se recurre a turbomáquinas como ventiladores que son seleccionados de

acuerdo al caudal de aire que deben mover. Para la determinación del caudal de aire se requiere de ecuaciones y cálculos de ventilación general, los mismos que serán detallados en el capítulo 2.

El esquema de la sala de acetona junto con la propuesta de ventilación diluidora de suministro y extracción de aire se muestra en la figura 1.12



**FIGURA 1.12. ESQUEMA DE SALA DE ACETONA
CON VENTILACIÓN DILUIDORA**

1.4.2 Ventilación por Extracción para Recuperar el Polvo Cosmético Desperdiciado.

El esparcimiento y desperdicio de polvo producto de la actividad de compactación, genera un ambiente contaminado en esta sala. El polvo al esparcirse alcanza el equipo de acondicionamiento de aire, el cual es de tipo ventana, y éste lo hace recircular por la sala. El ambiente se llena de este polvo lo que trae molestias como irritación de las vistas, irritación de garganta y molestias respiratorias. Esta sala cuenta con una superficie de 6m x 3m y una altura de 2.80m. En esta sala se compactan 900 tabletas o cajas de polvo cosmético al día, tres días a la semana, en promedio.

La cantidad de masa de polvo compactado, denominada pastilla de polvo, es de 16 gramos y la masa de la caja que la contiene es de 6 gramos. Se conoce que en la compactación se esparce al ambiente de la sala en promedio 0.55 Kilogramos de polvo aproximadamente, por día de trabajo. Por lo que la pérdida se estima en

$$\frac{\text{masa } pc}{\text{día}} = (\#pastillas \text{ al día})(\text{masa pastilla})$$

$$\frac{\text{masa } pc}{\text{día}} = \left(\frac{900 \text{ pastillas}}{\text{día}} \right) \left(\frac{16 \text{ g}}{1 \text{ pastilla}} \right)$$

$$\frac{\text{masa } pc}{\text{día}} = \frac{14400 \text{ g}}{\text{día}} = \frac{14.4 \text{ Kg}}{\text{día}}$$

$$\frac{\text{masa } pd}{\text{día}} = \frac{0.55 \text{ kg}}{\text{día}}$$

$$\frac{\text{masa } pu}{\text{día}} = \frac{\text{masa } pc}{\text{día}} + \frac{\text{masa } pd}{\text{día}} = \frac{14.4 \text{ kg}}{\text{día}} + \frac{0.55 \text{ kg}}{\text{día}}$$

$$\frac{\text{masa } pu}{\text{día}} = \frac{14.95 \text{ kg}}{\text{día}}$$

$$\frac{\text{Porcentaje pérdida}}{\text{día}} = \left(\frac{\frac{\text{masa } pd}{\text{día}}}{\frac{\text{masa } pu}{\text{día}}} \right) \times 100 = \left(\frac{0.55}{14.95} \right) \times 100 = 3.68\%$$

Donde *masa pc* es la masa de polvo compactado, *masa pd* es la masa de polvo desperdiciado y *masa pu* es la masa de polvo utilizado, todas con respecto a un día de trabajo. Es decir, se estima una pérdida diaria de 3.68% de polvo cosmético.

Esta pérdida puede parecer insignificante si se lo analiza desde el punto de vista de eficiencia. Sin embargo, se trata de pérdida de materia prima que incide directamente en los costos de producción además de los costos de

mantenimiento del acondicionamiento de aire que con mucha frecuencia es sometido al mantenimiento respectivo. A parte de esto, la pérdida de polvo contamina el ambiente de la sala.

Ante esta situación, se presenta la propuesta del diseño de un sistema de ventilación por extracción para la recolección del polvo desperdiciado, además de mitigar la contaminación en la sala debido al esparcimiento y recirculación de este material particulado.

El diseño se presenta en el siguiente esquema.

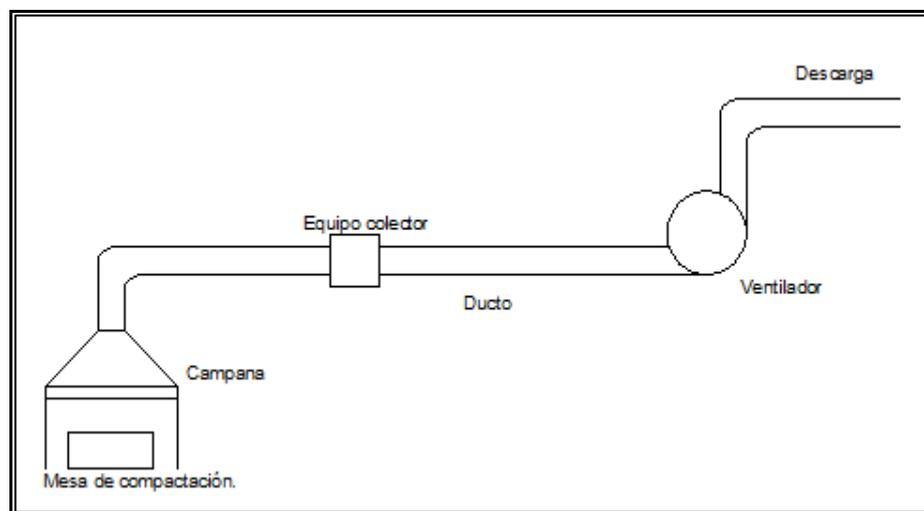


FIGURA 1.13 ESQUEMA DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA RECOLECCIÓN DEL POLVO COSMÉTICO.

En el esquema se pueden apreciar la mesa de compactación, que es el punto contaminante, la campana extractora, los ductos del sistema, un equipo colector del polvo o de control de contaminación, y el ventilador.

Alrededor de la mesa de compactación y colgando de la campana se observan dos líneas, las mismas que sirven para representar una frontera o lindero que indican el aislamiento de la zona de trabajo del resto de la habitación. Esta frontera está dada por la colocación de cortinas alrededor de la mesa de trabajo evitando el esparcimiento del polvo en la sala.

En el esquema, la campana, el equipo colector y los ductos hasta la entrada al ventilador se encuentran ubicados dentro de la sala, el ventilador y la descarga se hallan en el exterior de la sala.

El objetivo del sistema de ventilación mostrado en el esquema es la recolección del polvo que se esparce debido a la compactación. Por lo tanto el equipo de recolección o de control de contaminación debe ajustarse a las condiciones de espacio de la sala, así como también al contaminante en cuestión. Es decir, el equipo no debe ocupar mucho espacio

y debe poder recolectar partículas del tamaño respectivo al polvo.

La caída de presión y por ende el costo energético que pueda generar el equipo no es tan preponderante porque el sistema trabajaría únicamente al final de la jornada. El tiempo de operación del sistema sería corto, sólo el necesario para el objetivo específico del sistema, recolectar el desperdicio de polvo.

La elección del equipo apto para las condiciones físicas del polvo y de la sala es fundamental para el sistema.

1.4.3 Separación de Sólidos.

La extracción o recolección del polvo es considerada como una operación para el control de la contaminación del aire.

Para el caso de la sala de compactación, la contaminación del aire está dada por presencia del polvo cosmético esparcido alrededor de la sala.

El polvo al ser considerado material particulado, puede ser tratado mediante equipos depuradores de aire como son los filtros de aire y los captadores de polvo.

Los filtros de aire están diseñados para tratar aire con concentraciones de polvo bajas, normalmente como las que se encuentran en la atmósfera. Se utilizan en instalaciones como ventilación, acondicionamiento de aire y sistemas de calefacción. En todos estos casos la concentración de polvo es cercana a los 0.1 mg/m^3 .

Los captadores de polvo se diseñan generalmente para tratar aire con mayores concentraciones de polvo, como por ejemplo instalaciones industriales, en las que el aire que debe ser depurado procede de sistemas de extracción localizada así como también de efluentes gaseosos que se emiten por medio de chimeneas. Estos equipos pueden trabajar con concentraciones mayores del orden de 1000 a 2000 veces mayores que los filtros de aire. Un captador de polvo es el equipo a considerar para el sistema de ventilación propuesto. Los captadores de polvo pueden operar por vía seca o por vía húmeda.

La selección del equipo de captación de polvo depende de parámetros como eficiencia, costo de instalación, costo de

operación y mantenimiento, necesidades de espacio y características del contaminante, entre otras.

Con respecto a la eficiencia del equipo, ésta dependerá del problema específico planteado y de si el aire depurado va a ser recirculado o evacuado al exterior.

Las características del contaminante también deben ser tomadas en cuenta. Algunos polvos de productos químicos pueden deteriorar los elementos del equipo o depurador o también provocar corrosión en los que operan por vía húmeda. Los materiales o polvos abrasivos pueden provocar rápidos desgastes en las superficies metálicas de los equipos. El tamaño de las partículas, su forma y densidad pueden ser incompatibles con algún captador particular.

Las características de la corriente de aire pueden influir en la selección del equipo captador. La temperatura del aire en la corriente es preponderante para ciertos equipos debido a los materiales de los cuales puede estar hecho el mismo. Los productos corrosivos pueden afectar a los medios filtrantes o a los metales en los separadores por vía seca.

El costo de operación también es de consideración, el mismo que está en función de la caída de presión que ocasiona el equipo. Por lo tanto la caída de presión se convierte en un factor determinante a la hora de seleccionar el equipo.

La selección del equipo puede recaer en dar preferencia a la eficiencia o al bajo costo energético, al tamaño del equipo, u otro parámetro. Cualquiera que sea el caso, la desventaja de un equipo se ve compensada por la ventaja de otro y viceversa.

Entre los captadores de polvo tenemos:

- Cámaras de sedimentación
- Ciclones
- Lavadores de aire
- Filtros de mangas
- Precipitadores electrostáticos

Las cámaras de sedimentación consisten en un recinto o volumen en el que se hace decrecer rápidamente la velocidad de la corriente gaseosa, de tal manera que las partículas se sedimentan por gravedad. Ocupan mucho

espacio y sólo pueden recolectar partículas grandes del orden de los $100 \mu m$

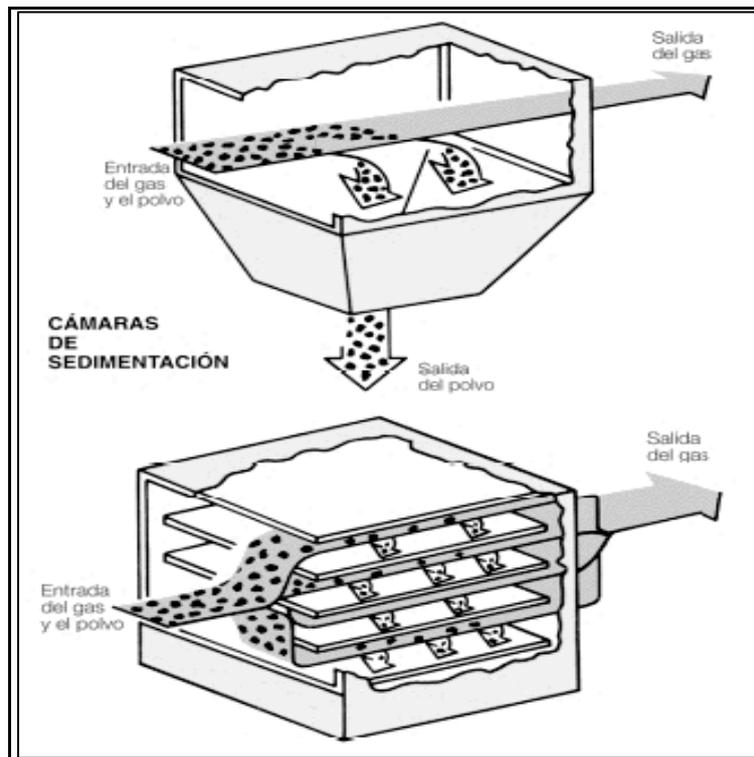


FIGURA 1.14. CÁMARA DE SEDIMENTACIÓN. FUENTE IRIS SILVA CASTRO, MSC ING. DE LA ENERGÍA, MITIGACIÓN EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS A CARBÓN

El ciclón es muy utilizado para la separación de polvo grueso. En un ciclón la corriente de aire ingresa en él y es forzada a seguir un movimiento circular que ejerce una fuerza centrífuga sobre las partículas y las dirige hacia las paredes

del ciclón. Las paredes del ciclón son angostas en la parte inferior del equipo, y las partículas son recolectadas en la parte inferior por una tolva o cualquier otro receptor. Son de bajo costo de construcción y mantenimiento, pueden operar a altas temperaturas, sin embargo su costo de operación es alto debido a la gran caída de presión que produce. No pueden recolectar partículas menores a $5 \mu\text{m}$. Los ciclones son más eficaces que las cámaras de sedimentación.

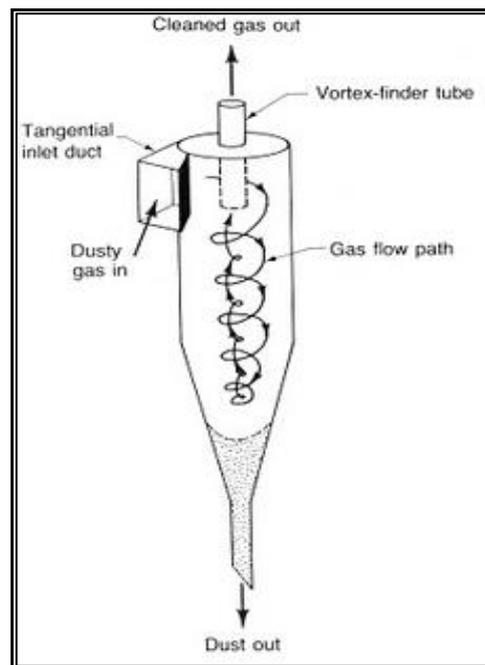
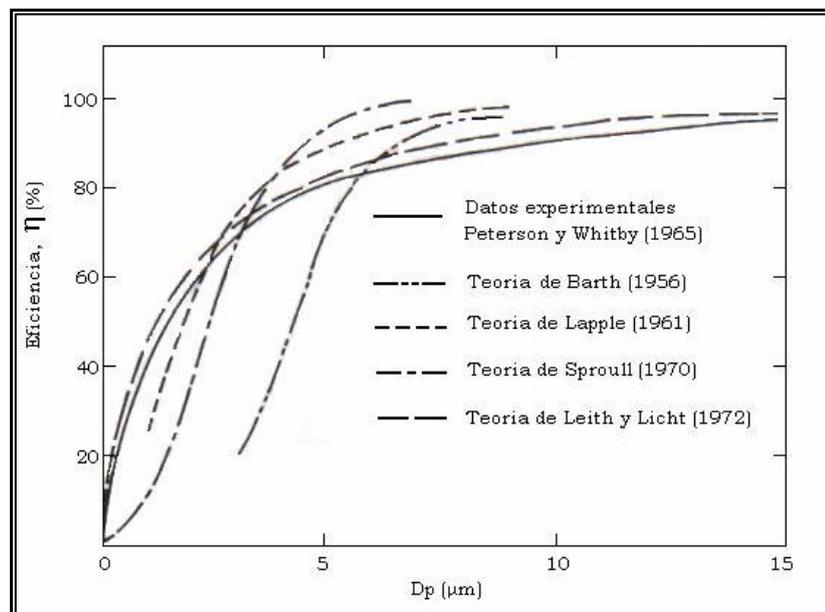


FIGURA 1.15 CICLÓN. FUENTE, “AIR POLLUTION CONTROL: A DESIGN APPROACH, COOPER AND ALLEY”

En la figura 1.16 se muestra una gráfica de la eficiencia de colección de los ciclones versus el diámetro de la partícula en micrómetros. En ella se observa que la eficiencia de los ciclones supera el 80% para partículas mayores a $15 \mu\text{m}$, lo que lo hace muy útil para transportar o separar material particulado con grandes tamaños garantizando una transporte o separación total.



**FIGURA 1.16. EFICIENCIA DE COLECCIÓN DEL CICLÓN.
FUENTE “DISEÑO ÓPTIMO DE CICLONES, CARLOS
ALBERTO ECHEVERRI LONDOÑO, 2006**

Los lavadores de aire también conocidos como separadores húmedos remueven material particulado mediante contacto

directo con un líquido que generalmente es agua. Se utilizan para separar sólidos a partir de $5 \mu m$. Tienen la ventaja de manejar polvos inflamables o explosivos, enfriar corrientes de gases calientes y además de coleccionar partículas pueden absorber ciertos gases. Como desventaja se tiene que el material recolectado puede contaminarse y no puede ser reciclado además de presentar un alto potencial de corrosión, al mismo tiempo que generan un efluente líquido que debe ser tratado, por lo que se recurre a un proceso adicional de control de contaminación. Los lavadores de aire pueden ser de varias clases entre las que sobresalen los de cámara o torre de lavado, y los efecto Venturi.

Las torres de lavado consisten en una cámara de forma rectangular o cilíndrica en cuyo interior se introduce agua a través de boquillas pulverizadoras, lo que provoca que gotas de agua impacten con las partículas de polvo reteniendo al mismo. El efluente líquido suele ser recirculado por el equipo.

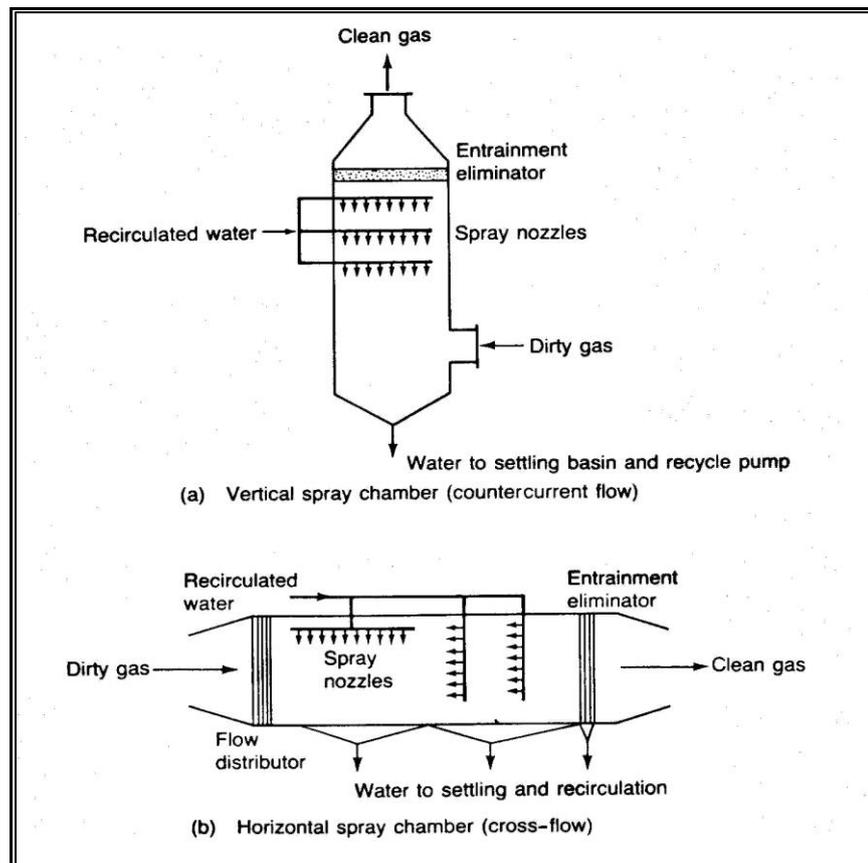


FIGURA 1.17 TORRES DE LAVADO O LAVADORES DE CÁMARA SPRAY. FUENTE, “AIR POLLUTION CONTROL: A DESIGN APPROACH, COOPER AND ALLEY”

El lavador Venturi utiliza impacto inercial de partículas en gotas de agua formadas por atomización producida por una corriente de gas a alta velocidad. Tiene un estrangulamiento de forma Venturi para conseguir altas velocidades en la garganta del mismo. La velocidad del gas en la garganta puede estar entre 60 y 120 m/s . El agua es suministrada a través de tuberías o inyectores situados

aguas arriba o en la misma garganta. El lavador Venturi puede considerarse como un acondicionador de aire debido que provoca un contacto entre las partículas contenidas en el gas o corriente de aire y el agua de lavado.

El agua de desecho aglomerada de polvo debe canalizarse para una separación de gotas y luego ser recirculada.

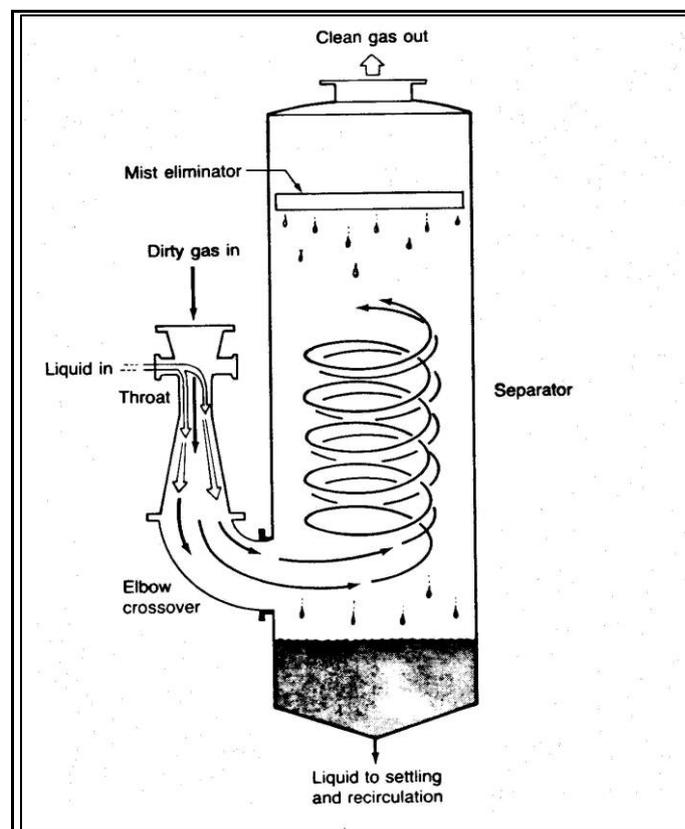


FIGURA 1.18 LAVADOR VENTURI. FUENTE, “AIR POLLUTION CONTROL: A DESIGN APPROACH, COOPER AND ALLEY”

Los lavadores de aire trabajan con recirculación de agua, la misma que debe ser tratada previamente luego de haber sido utilizada en el equipo.

Los filtros de mangas colectan partículas en filtros tubulares o mangas de materiales filtrantes. Las partículas son capturadas mediante obstrucción, impacto, difusión, interceptación y atracción electrostática. La manga es una masa porosa a través de la cual debe circular el aire que se desea filtrar de tal manera que las partículas de polvo quedan retenidas en la cara sucia de la manga, y el gas limpio atraviesa la masa filtrante.

Las mangas colectan las partículas, las que forman rápidamente una capa que a la vez actúa como filtro. La capa de material recolectado debe ser removida periódicamente. Sus ventajas son la alta eficiencia de colección para partículas pequeñas, además de poder filtrar una gran variedad de polvos. Como desventaja se tiene que ocupan mucho espacio, el material filtrante puede ser afectado a altas temperaturas o materiales corrosivos.

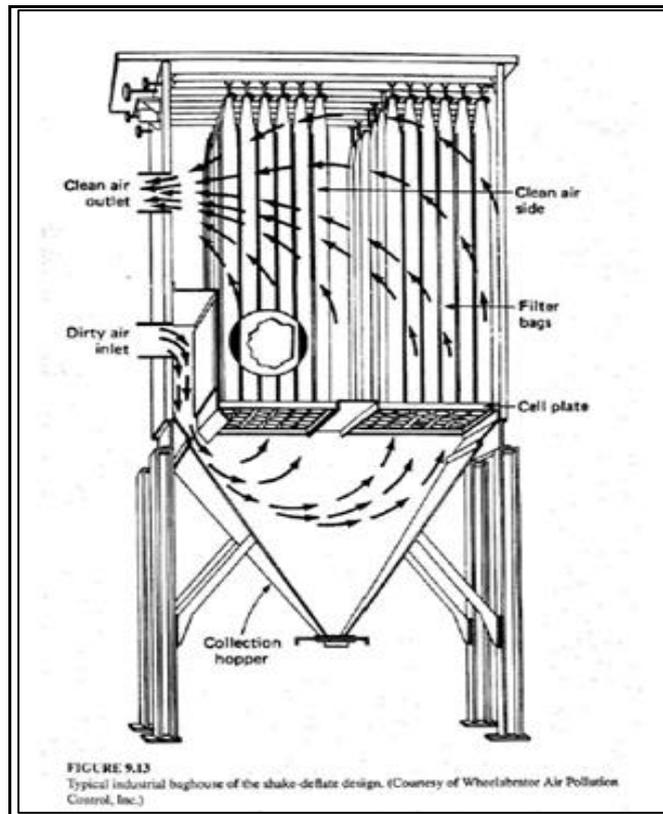


FIGURA 1.19 FILTRO DE MANGAS. FUENTE, “AIR POLLUTION CONTROL: A DESIGN APPROACH, COOPER AND ALLEY”

Los precipitadores electrostáticos son equipos en los cuales se mantiene un campo eléctrico de alto voltaje entre dos electrodos, uno es de descarga y el otro colector, cuyas polaridades son de signo opuesto. El electrodo de descarga es de sección pequeña, tal como un alambre o una lámina larga y estrecha, mientras que el electrodo colector tiene forma de placa es de gran superficie. El aire a tratar

atraviesa el campo eléctrico que se mantiene entre los dos electrodos.

La precipitación electrostática consiste en:

1. Ionización del aire entre los electrodos.
2. Procesos de carga, migración y colección de partículas.
3. Remoción de partículas colectadas en las placas.

Las partículas son removidas por fuerza eléctricas que actúan únicamente en las partículas y no en el aire a tratar.

Estos equipos se caracterizan por tener una alta eficiencia de colección para partículas pequeñas y manejar altos caudales con baja caída de presión, puede operar a altas temperaturas. Sin embargo su costo inicial es demasiado alto, ocupan demasiado espacio y no son muy flexibles a cambios en las condiciones de operación para las que fueron diseñados.

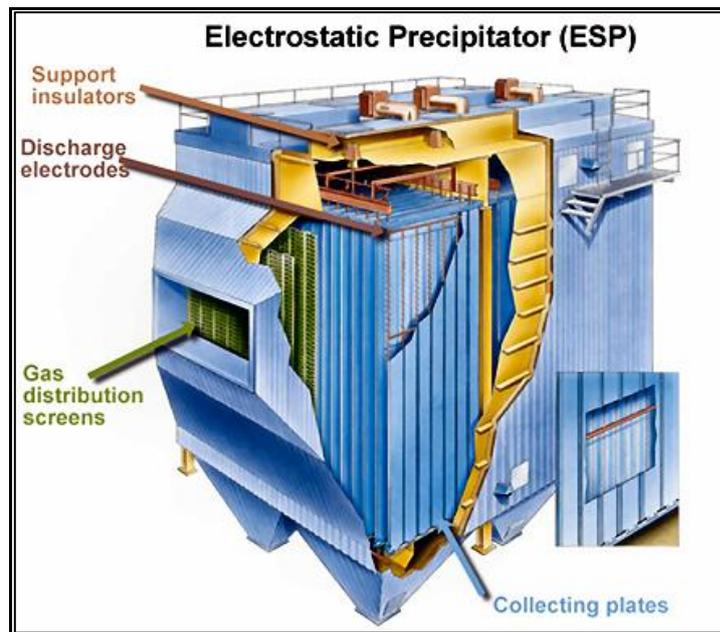


FIGURA 1.20 PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO.

Una vez que se han presentado los diferentes captadores de polvo, se elige la opción que se ajuste más a las condiciones del diseño planteado. Es decir, el equipo seleccionado debe en lo posible cumplir con lo siguiente:

- Ocupar poco espacio debido a las dimensiones de la sala
- Ser de bajo costo inicial
- Ser de bajo costo de mantenimiento
- Debe tener una alta eficiencia de colección para partículas del tamaño del polvo cosmético, el cual se estima en $50 \mu m$.

- Debe ser en lo posible un separador aire-materia
- Bajo costo de operación.

Por lo tanto, el equipo separador que más se ajusta al requerimiento del sistema es el ciclón.

Con el ciclón se ocupa poco espacio. El espacio es primordial debido al diseño del sistema. Se requiere un equipo que permita recolectar el polvo pero a la vez que sea manejable debido a las operaciones realizadas en la empresa.

Los ciclones son de bajo costo inicial y de mantenimiento comparado con otros equipos depuradores.

El ciclón tiene una muy alta eficiencia de colección para partículas mayores a los 10 μm . El tamaño del polvo cosmético se estima en 50 μm , por lo tanto el ciclón podrá recolectar en su totalidad el polvo, convirtiéndose en un separador aire-materia, muy similar a las aplicaciones de transporte neumático.

Los ciclones se caracterizan por tener un elevado costo de operación debido a la gran caída de presión que producen. Sin embargo, el objetivo del sistema es recolectar el polvo

desperdiciado luego de la jornada laboral, por lo que el equipo estará poco tiempo en funcionamiento, solo el tiempo necesario para poder recolectar la materia prima desperdiciada y esparcida por la sala de compactación.

Finalmente el equipo recolector elegido para el sistema de ventilación propuesto, es el ciclón.

El diseño conceptual de este sistema se presenta en el capítulo 3.

CAPÍTULO 2.

2. VENTILACIÓN DILUIDORA EN ZONA DE ELABORACIÓN DE ACETONA.

Una vez que se han presentado a la empresa, sus procesos, los productos que elabora y comercializa, los espacios y condiciones de trabajo junto con las propuestas planteadas para mitigar los efectos de la exposición a sustancias peligrosas; ahora se desarrollan estas propuestas comenzando con la de la ventilación general para diluir la concentración de contaminantes presentes en el aire, producto de la elaboración y envasado de quita esmalte o comúnmente llamado acetona.

La ventilación general es un término amplio que hace referencia al suministro o extracción de aire de una zona, local o edificio. La ventilación general puede conseguirse mediante el uso de energía

mecánica, es decir, ventilación forzada, o mediante la energía térmica que pasa al ambiente o los gradientes de presión en el viento, obteniendo así la ventilación natural. La ventilación forzada puede aplicarse independientemente de las condiciones ambientales, mientras que la ventilación natural está en función de que las condiciones ambientales sean favorables a ella.

Según los objetivos, la ventilación general puede clasificarse en ventilación diluidora y en ventilación de control térmico.

La ventilación diluidora consiste en la dilución de aire contaminado con aire sin contaminar, con el propósito de controlar riesgos de incendio o explosiones, riesgos para la salud, olores y contaminantes molestos. La ventilación diluidora también abarca el control de contaminantes ambientales como vapores, gases y partículas, generados en el interior de recintos cerrados. La ventilación diluidora también se la conoce como ventilación por dilución para el control de sustancias químicas. Este tipo de ventilación se obtiene mediante ventilación forzada cuando se está frente a procesos químicos que no generan calor que se transfiera al lugar de trabajo.

La ventilación para el control térmico consiste en el control de las condiciones ambientales asociadas con los ambientes industriales muy

calurosos, como es el caso de panaderías, fundiciones, lavanderías, con el objetivo de prevenir daños o molestias. Esto puede conseguirse ya sea mediante ventilación forzada, también denominada ventilación mecánica, o ventilación general.

La propuesta presentada consistía en ventilar el ambiente o sala de envasado de acetona utilizando ventilación diluidora, la misma que se desarrolla a continuación.

2.1 Fundamentos de Ventilación Diluidora.

La ventilación diluidora teniendo como objetivo la dilución de aire contaminado con aire sin contaminar, está limitada por las siguientes causas:

1. La cantidad de contaminante generada no debe ser demasiado elevada, pues en ese caso el caudal que sería necesario para la dilución sería demasiado elevado.
2. Los trabajadores deben estar lo suficientemente alejados de la fuente de contaminación o la dispersión del contaminante debe producirse en concentraciones lo bastante bajas, de tal forma que la exposición de los trabajadores no superes los límites correspondientes.
3. La toxicidad del contaminante debe ser baja.

4. La dispersión del contaminante debe ser razonablemente uniforme.

El tener un aire limpio y sin contaminantes es de gran importancia en el ambiente de trabajo. La industria moderna, con su complejidad de operaciones y procesos, utiliza un gran número de sustancias y preparados químicos muchos de los cuales poseen una elevada toxicidad. Es por esto que los trabajadores se encuentran expuestos a ambientes cargados de sustancias que pueden ser potencialmente peligrosas, unas más que otras, y que el daño que puede ocasionar en el individuo está en función de la toxicidad de las mismas.

Muchas sustancias contaminantes, ya sean éstas gases o partículas, vapores, etc, pueden estar presentes en el aire en una cantidad u otra. Para cuantificar la cantidad de contaminantes presentes en el aire se utiliza el término concentración del contaminante. La concentración de un contaminante se define como la masa de un contaminante por unidad de volumen de aire. Es decir, es la masa de contaminante presente en un determinado volumen de aire. La concentración del contaminante se designa así:

$$C = \frac{\text{masa contaminante}}{\text{volumen de aire}} = \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$$

También se la puede cuantificar la concentración de un contaminante mediante la unidad llamada *partes por millón*. Una parte por millón (ppm) se define como la presencia de un volumen de contaminante gaseoso en un millón de volumen de contaminante más aire. Es decir, se refiere a la cantidad de unidades de una sustancia que hay por cada millón de unidades de un conjunto. Para el caso de un contaminante atmosférico, se refiere a la cantidad de agentes contaminantes por cada millón del conjunto agente contaminante y aire. El concepto es muy similar a lo que se acepta como un porcentaje, sino que ahora se lo mide en partes por millón.

A partir de la ley de los gases ideales, se tiene la siguiente ecuación que relaciona la concentración de un contaminante en $\mu g/m^3$ con la concentración en *ppm*.

$$C_{\mu g/m^3} = \frac{(C_{ppm})(PM)(1000)}{\frac{RT}{P}} \quad (2.1)$$

Donde PM es el peso molecular del contaminante, R es la constante universal de los gases igual a $0.08208 \frac{atm m^3}{Kmol k}$, T es la temperatura absoluta en kelvin y P es la presión absoluta en *atm*.

Para condiciones estándares de presión y temperatura (298 k y 1 atm), la ecuación 2.1 se puede escribir como

$$C_{\mu g/m^3} = \frac{(C_{ppm})(PM)(1000)}{24.5} \quad (2.2)$$

La concentración de los contaminantes son parámetros importantes al momento de realizar estudios de contaminación atmosférica, ya sea para establecer tasa de emisión de un contaminante o como también para determinar la distribución de los contaminantes en la atmósfera, además de cuantificar qué tan riesgosa es una sustancia o contaminante al encontrarse a determinada concentración.

Un contaminante presente en el aire es un riesgo potencial para la salud y dicho riesgo puede ser indicado por su valor límite TLV. El TLV (valor límite umbral, por sus siglas en inglés) de una sustancia, es aquel nivel o límite de concentración a la cual un trabajador puede estar expuesto día tras día sin experimentar efectos adversos en su salud. El TLV puede clasificarse de la siguiente manera:

- TLV-TWA (Time Weighted Average). Es la concentración promedio en tiempo de un contaminante tomado dentro de un

turno de trabajo de 8 horas al día, 40 horas a la semana, en la que se conoce que casi todos los trabajadores pueden estar continuamente expuestos, día tras día, sin experimentar efectos adversos en su salud.

- TLV-STEL (Short Term Exposure Limit). Es la concentración de un contaminante a la que se conoce que los trabajadores pueden estar continuamente expuestos por un período corto de tiempo sin que sufran de irritación, daños crónicos o irreversibles de los tejidos o narcosis que incremente la posibilidad de lesiones por accidentes, que imposibilite la capacidad de autodefensa o que reduzca la eficiencia del trabajo, sin que el TLV-TWA haya sido excedido. El tiempo de exposición corto no debe ser mayor a los 15 minutos y no debe ocurrir más de 4 veces al día.
- TLV-Ceiling. Es la concentración de un contaminante que no debe excederse bajo ninguna consideración durante el turno de trabajo.

Los valores TLV son concentraciones de sustancias y pueden ser expresados en $\mu g/m^3$ y en *ppm*.

Los valores TLV-TWA son los más utilizados como parámetros en los cálculos y estudios de contaminantes atmosféricos en relación

con los ambientes de trabajo y están tabulados para diversas sustancias, siendo muy utilizados en los cálculos de ventilación diluidora.

La ventilación por dilución encuentra su aplicación más frecuente en el control de vapores orgánicos cuyo TLV-TWA sea igual o superior a los 100 ppm.

El caudal de ventilación necesario para mantener constante la concentración, para un valor dado de la velocidad de generación o caudal másico del contaminante emitido por la fuente, se deduce a partir de un balance de masa de contaminante dentro del local, suponiendo que el aire que ingresa está libre de contaminación y que la fuente lo incorpora continuamente.

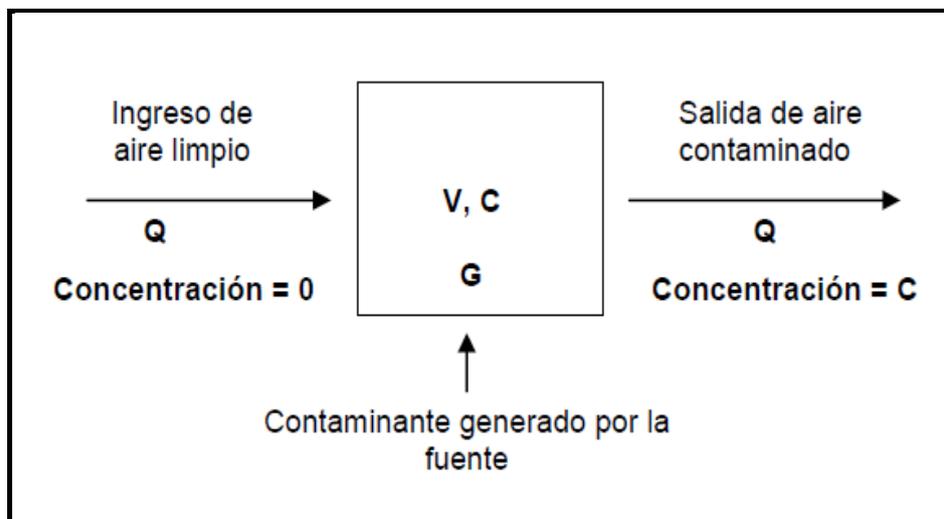


FIGURA 2.1 MODELO MATEMÁTICO DE VENTILACIÓN DILUIDORA

La figura 2.1 representa un modelo en donde se tiene un recinto en donde se están generando contaminantes diluyen los contaminantes que se generan en el interior de un recinto con aire sin contaminar que ingresa desde el exterior.

La razón de generación del contaminante = Flujo de aire contaminado entrando + Razón de generación del contaminante – Flujo saliendo con contaminante.

$$V \frac{dC}{dt} = QC_0 + G - QC \quad (2.3)$$

Si se asume que el aire que ingresa está libre de contaminantes, entonces se tiene que $C_0 = 0$, y que además se tiene un régimen de estado estable, $dC = 0$. Por lo tanto se tiene que:

$$QCdt = Gdt$$

$$Q = \frac{G}{C} \quad (2.4)$$

Donde

Q es el caudal de aire que ingresa y sale del recinto.

G es la razón de generación del contaminante.

C es la concentración del contaminante.

En este modelo se asume que el contaminante generado se mezcla instantáneamente con todo el aire del local y que el caudal de aire de salida presenta esa misma concentración.

Debido a que la mezcla no es completa ni homogénea, se introduce un factor de seguridad en la ecuación (2.4), de modo que se tiene

$$Q_R = \left(\frac{G}{C}\right)K \quad (2.5)$$

Donde Q_R es el caudal real de ventilación considerando el factor K , que es un factor de seguridad y toma un valor entre 1 y 10 y se basa en varias consideraciones:

- 1) La eficacia de la mezcla y la distribución del aire introducido en el local en el local o espacio que se ventila
- 2) La toxicidad del disolvente. Se han sugerido las siguientes recomendaciones para elegir el valor de K más apropiado:
 - Sustancia ligeramente tóxica : TLV-TWA > 500 ppm
 - Sustancia moderadamente tóxica: TLV-TWA 100 a 500 ppm
 - Sustancia altamente tóxica: TLV-TWA < 100 ppm.
- 3) La consideración de cualquier otra circunstancia que se considere importante en base a la característica de la situación concreta. Las circunstancias incluidas en este criterio son:

- a) La duración del proceso, el ciclo de operaciones y la ubicación habitual de los trabajadores en relación a los focos contaminantes.
- b) La ubicación y el número de contaminantes en el local o área de trabajo.
- c) Los cambios estacionales en la cantidad de ventilación general.
- d) La reducción en la eficacia funcional de los equipos mecánicos de ventilación.
- e) Otras circunstancias que puedan afectar a la concentración de sustancias peligrosas en la zona respiratoria de los trabajadores.

Cuando la concentración C se expresa en ppm , en lugar de usar las unidades de masa de contaminante por volumen de aire ($\mu g/m^3$), el caudal volumétrico Q se expresa en m^3/h .

$$Q = \frac{G(10^6)}{C} \quad (2.6)$$

Donde ahora G se expresa en m^3/h y se la denomina velocidad de generación.

El caudal de aire para la dilución de un contaminante se lo puede determinar mediante la ecuación (2.6) ante una situación particular envuelta de un contaminante. Si se sustituye la concentración C por el correspondiente valor del TLV-TWA de la sustancia en contaminante en cuestión, se asegura que el caudal de aire para la dilución considera la exposición ante la sustancia 8 horas al día sin que se experimenten efectos sobre la salud.

Para disolventes líquidos, el valor de la velocidad de generación viene dado por la siguiente expresión:

$$G = \frac{24.45(d)(E)}{PM} \quad m^3/h \quad (2.7)$$

donde

d es la densidad relativa del disolvente líquido

E es la velocidad de evaporación del disolvente en litros sobre hora, l/h

PM es el peso molecular del disolvente

24.45 es el volumen de vapor en m^3 en condiciones estándar, generado por la evaporación de un litro de disolvente de densidad unitaria y peso molecular unitario.

Reemplazando (2.7) en (2.5) se tiene:

$$Q_R = \frac{24.45 (10^6)(d)(E)(K)}{(PM)(TLV TWA)} \quad (m^3/h) \quad (2.8)$$

A partir de la ecuación 2.8 se obtiene el caudal real de ventilación necesario para diluir una sustancia peligrosa por debajo de su TLV-TWA.

Como se puede apreciar, para obtener el caudal real de ventilación, se debe conocer la tasa de generación del contaminante en m^3/h , también llamada velocidad de evaporación del disolvente si se encuentra en esas unidades.

La tasa de generación del contaminante puede ser determinada para los fines del cálculo de caudal para la ventilación diluidora.

2.2 Elaboración de la Acetona

Como se mencionó en el capítulo 1 sección 1.3, cuando se menciona a la acetona, se está refiriendo a los removedores o quita esmalte que comúnmente se encuentran en el mercado.

La acetona propiamente dicha es una sustancia química presente en la naturaleza. Se la encuentra en plantas, alimentos, gases, en la sangre y en productos de descomposición de la grasa corporal. Además está presente en gases de combustión, humos de tabaco, y en emisiones de procesos industriales. Es un líquido incoloro con

olor dulce similar al de las frutas. Se evapora fácilmente, es inflamable y muy soluble en sustancias como el agua, metanol, etanol.

La acetona se utiliza como disolvente y como compuesto intermedio en la producción de sustancias químicas. Para la industria alimenticia se utiliza como disolvente para extracción de grasas y aceites.

Existen diversos productos que contienen acetona como los removedores de esmalte de uñas, removedores de pintura, detergentes, entre otros. Sin embargo, comúnmente los removedores de esmalte de uñas son denominados o comercializados como acetona. Es muy común en nuestro medio referirse a los quita esmaltes como acetonas. Incluso algunos removedores de esmalte traen en sus recipientes la denominación de acetona. Debido a esto, al mencionar elaboración de la acetona, se hace referencia a la elaboración de quita esmalte o removedor de esmalte de uñas.

La empresa entre sus productos cuenta con un quita esmalte denominado Boutique Quita Esmalte Regular, el mismo que cuenta con componentes como: acetato de etilo, esencias, colorantes,

agua desionizada, alcohol etílico. De estos componentes, el de mayor porcentaje en la acetona o quita esmalte es el Acetato de Etilo con un porcentaje del 45%, además de que es el componente más tóxico de los presentes en el quita esmalte o acetona, sin embargo, el Alcohol Etílico, también es considerado una sustancia potencialmente contaminante. Por tal motivo, se consideran al Acetato de Etilo y al Alcohol Etílico, como las sustancias contaminantes predominantes en el ambiente de trabajo de la sala de acetona.

La elaboración de la acetona o quita esmalte se la realiza al mezclar los componentes en diferentes proporciones ya establecidas. Esta mezcla o fraccionamiento se lo realiza en la bodega de materias primas y alcoholes, y luego éstos son depositados en recipientes de la sala de acetona a partir de los cuales se realiza el llenado y etiquetado de los envases que serán puestos en bodega de producto terminado para su posterior comercialización. La figura 2.2 muestra el diagrama del proceso de la acetona desde la mezcla de los componentes con sus porcentajes en peso hasta la comercialización del producto.

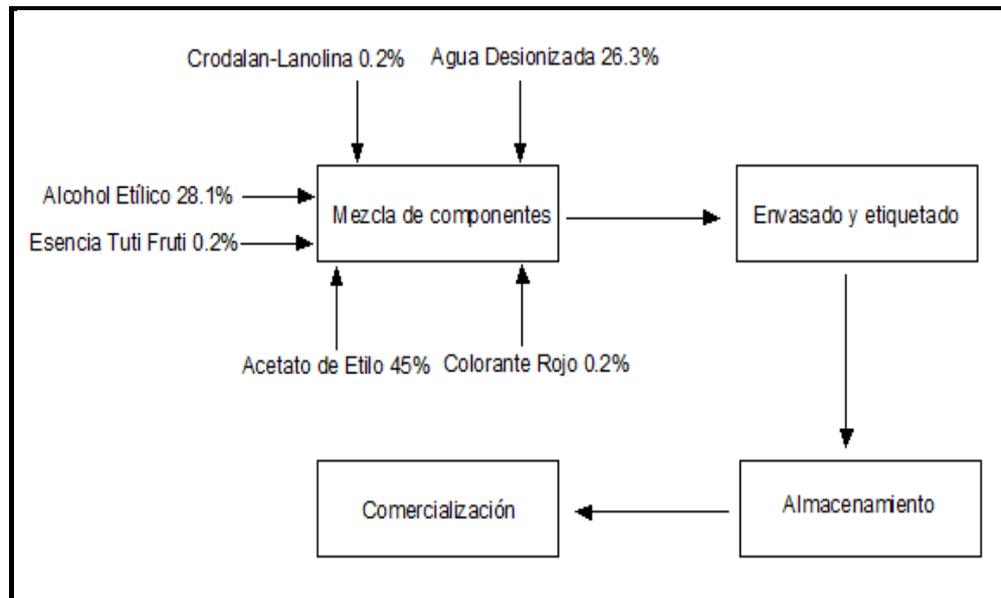


FIGURA 2.2 PROCESO DE ELABORACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ACETONA.

2.3 Determinación de la Tasa de Generación del Contaminante.

Según el proceso de elaboración del quita esmalte, se encuentran dos sustancias consideradas contaminantes, el Acetato de Etilo y el Alcohol Etílico.

Como ya es conocido, para poder calcular el caudal de ventilación necesario para diluir los contaminantes por debajo de su TLV, se requiere la tasa de evaporación de los mismos, que por conservación de masa, la tasa de evaporación del Acetato de Etilo y del Alcohol Etílico es igual a la tasa de generación de dichos contaminantes.

La empresa no cuenta con datos de las tasas de evaporación de las sustancias que emplea en sus procesos, por lo que tuve que determinarlas experimentalmente, siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Obtuve las condiciones ambientales de la sala de elaboración de acetona.
2. Comparé las condiciones ambientales de la sala de elaboración de acetona con las del laboratorio de control de calidad de la empresa, sitio donde realicé la experimentación.
3. Tomé una muestra de Acetato de Etilo en un pequeño matraz para pesarlo en el laboratorio de control de calidad. De igual manera se procedió con el Alcohol Etílico.
4. Coloqué el matraz sobre una pequeña balanza digital de gran precisión y sensibilidad.
5. Procedí a tomar la variación de las lecturas del peso en gramos del matraz minuto a minuto, durante un intervalo de 17 minutos.
6. Con los datos obtenidos elaboré una gráfica “volumen de Acetato de Etilo versus tiempo” y una de “volumen de Alcohol Etílico versus tiempo”
7. Con la gráfica y datos obtenidos desarrollé el método de Mínimos Cuadrados para obtener una curva que represente los

fenómenos físicos en cuestión: Evaporación de Acetato de Etilo en el tiempo y Evaporación de Alcohol Etilico en el tiempo.

8. Finalmente determiné la tasa de evaporación de los contaminantes.

La comparación de las condiciones ambientales de la sala de elaboración de la acetona con el laboratorio de control de calidad es de importancia para la evaporación. Las condiciones ambientales fueron muy cercanas, ambas tienen acondicionadores de aire para garantizar el confort en las mismas.

Las condiciones ambientales consideradas fueron las del laboratorio de control de calidad, el mismo que regularmente se encuentra a 23°C y a 44% HR (humedad relativa). Estas condiciones son de importancia en la presión de vapor que hay en el ambiente, lo cual influye de manera directa en la evaporación de una sustancia. Es por esto que las condiciones ambientales de ambos recintos deberían estar muy próximas entre ellas para que los datos obtenidos del experimento sean considerados como válidos.

Solamente trabajé con una muestra de las sustancias en cuestión. Se recomienda que se deben tomar 3 muestras y trabajar con el

promedio entre ellas. Sin embargo solo pude tomar una muestra desde la bodega de materias primas, por lo que los datos obtenidos tienen su respectivo margen de error, como todo experimento.

Es importante resaltar que las condiciones en las que se realizó el experimento no eran acordes a los de un laboratorio dedicado a la ciencia e investigación, en donde toman las consideraciones necesarias para que los resultados sean lo más exactos posibles. En mi caso, la toma de las muestra las realicé en la bodega de materias primas y me dirigí al laboratorio en donde ya estaba lista la balanza digital y donde procedí inmediatamente a anotar las lecturas del peso en gramos del matraz minuto a minuto, durante 17 minutos. Pude haber tomado un tiempo de 30 ó más minutos para la toma de datos, pero noté que los datos tenían un comportamiento algo uniforme por lo que consideré que no era necesario tomar más. Una vez terminada la experimentación, retorné el Acetato de Etilo que no se había evaporado a su respectivo recipiente de almacenamiento en la bodega. De igual forma procedí con el Alcohol Etilico.

Para el Acetato de Etilo, los datos obtenidos junto con la curva correspondiente se muestran continuación.

TABLA 5
EVAPORACIÓN DEL ACETATO DE ETILO

EVAPORACIÓN DEL ACETATO DE ETILO.				
Lectura.	Tiempo (min)	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Volumen(cm ³)
1	0	157.864	0.901	175.2098
2	1	157.849	0.901	175.1931
3	2	157.837	0.901	175.1798
4	3	157.828	0.901	175.1698
5	4	157.812	0.901	175.1521
6	5	157.804	0.901	175.1432
7	6	157.793	0.901	175.1310
8	7	157.780	0.901	175.1165
9	8	157.767	0.901	175.1021
10	9	157.757	0.901	175.0910
11	10	157.743	0.901	175.0755
12	11	157.732	0.901	175.0633
13	12	157.72	0.901	175.0499
14	13	157.708	0.901	175.0366
15	14	157.695	0.901	175.0222
16	15	157.686	0.901	175.0122
17	16	157.673	0.901	174.9978
18	17	157.662	0.901	174.9856

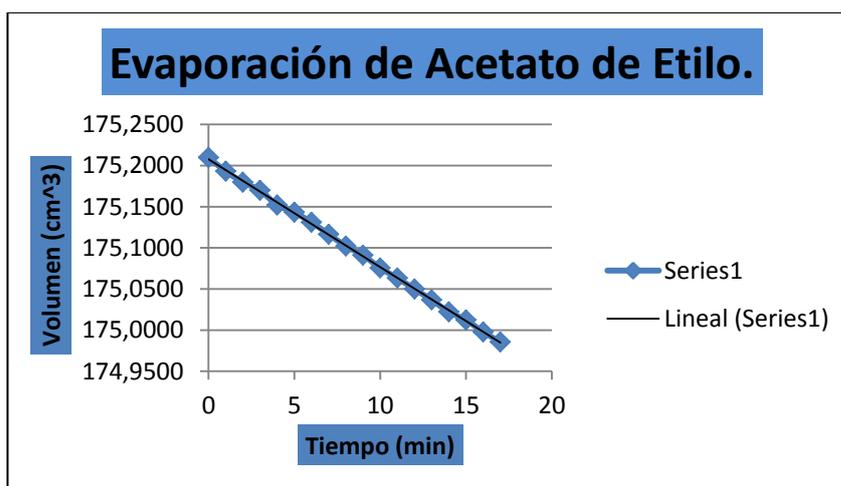


FIGURA 2.3 GRÁFICO VOLUMEN ACETATO DE ETILO VS TIEMPO

La densidad del Acetato de Etilo fue tomada del texto “Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Ricardo Goberna. 1992”

Como se puede apreciar en el gráfico, la curva obtenida se aproxima a un comportamiento lineal y se aprecia su respectiva línea de tendencia. Entonces la pendiente negativa de dicha curva representa la tasa de evaporación del contaminante. Para encontrar esta tasa de evaporación recurro al método de los Mínimos Cuadrados, el cual sirve para ajustar una recta a un conjunto de datos presentados.

La aplicación del método de mínimos cuadrados responde a las siguientes ecuaciones:

$$\sum y = nb + a\sum x \quad (A) \quad (2.9)$$

$$\sum xy = b\sum x + a\sum x^2 \quad (B) \quad (2.10)$$

Donde "x" y "y" representan datos y n, el número de datos tomados. Con (A) Y (B) se obtiene la ecuación de una curva de la forma $y = ax + b$, y para el caso de la evaporación del Acetato de Etilo, la variable independiente "x" está dada por el tiempo (t) y la variable dependiente "y" está dada por el volumen (V).

Reemplazando las variables "x" y "y" de las ecuaciones (A) y (B) por t y \forall , respectivamente, se tiene:

$$\sum \forall = nb + a\sum t \quad (C) \quad (2.11)$$

$$\sum t\forall = b\sum t + a\sum t^2 \quad (D) \quad (2.12)$$

Y de las ecuaciones (C) y (D) se obtiene la ecuación de la recta

$$\forall = at + b \quad (E) \quad (2.13)$$

Donde \forall está en cm^3 y t en *min.*

De los datos obtenidos en la experimentación, se desarrollan los siguientes valores:

TABLA 6
MÍNIMOS CUADRADOS. ACETATO DE ETILO

$n = 18$	t	V	tV	t^2
	0	175.2098	0	0
	1	175.1931	175.1931	1
	2	175.1798	350.3596	4
	3	175.1698	525.5094	9
	4	175.1521	700.6082	16
	5	175.1432	875.7159	25
	6	175.1310	1050.7858	36
	7	175.1165	1225.8158	49
	8	175.1021	1400.8169	64
	9	175.0910	1575.8191	81
	10	175.0755	1750.7547	100
	11	175.0633	1925.6959	121
	12	175.0499	2100.5993	144
	13	175.0366	2275.4761	169
	14	175.0222	2450.3108	196
	15	175.0122	2625.1831	225
	16	174.9978	2799.9645	256
	17	174.9856	2974.7547	289
Σ	153	3151.7314	26783.3629	1785

Reemplazando los correspondientes valores en (C) y (D) se tiene:

$$\Sigma V = nb + a\Sigma t \quad (2.14)$$

$$\Sigma tV = b\Sigma t + a\Sigma t^2 \quad (2.15)$$

$$\begin{cases} 3151.7314 = 18b + 153a \\ 26783.3629 = 153b + 1785a \end{cases}$$

$$b = 175.2076$$

$$a = -1.3115 \times 10^{-2}$$

y se tiene

$$V = -1.3115 \times 10^{-2} t + 175.2076 \quad (2.16)$$

La ecuación (2.16) representa el volumen del Acetato de Etilo presente en el matraz con respecto al tiempo, donde V está en cm^3 y t en min y es la ecuación de la línea de tendencia central mostrada en la figura 2.3

El valor absoluto de la pendiente de la recta (2.16) indica la tasa de evaporación del Acetato de Etilo denominada por E , y por conservación de la masa, esta tasa de evaporación es igual a la tasa de generación del contaminante en el recinto, a la cual se denomina G . Por lo tanto

$$E = G = 1.3115 \times 10^{-2} \frac{cm^3}{min.} = 0.00078 \frac{L}{h}$$

$$E = G = 0.00078 \frac{L}{h}$$

De igual forma se procedió con el Alcohol Etílico. Los resultados se muestran a continuación.

TABLA 7
EVAPORACIÓN DEL ALCOHOL ETÍLICO

EVAPORACIÓN DEL ALCOHOL ETÍLICO				
Lectura.	Tiempo (min)	Masa (g)	Densidad (g/cm ³)	Volumen(cm ³)
1	0	168.867	0.789	214.0266
2	1	168.855	0.789	214.0114
3	2	168.848	0.789	214.0025
4	3	168.839	0.789	213.9911
5	4	168.828	0.789	213.9771
6	5	168.818	0.789	213.9645
7	6	168.810	0.789	213.9543
8	7	168.800	0.789	213.9416
9	8	168.794	0.789	213.9340
10	9	168.785	0.789	213.9226
11	10	168.774	0.789	213.9087
12	11	168.767	0.789	213.8998
13	12	168.757	0.789	213.8871
14	13	168.748	0.789	213.8757
15	14	168.739	0.789	213.8643
16	15	168.729	0.789	213.8517
17	16	168.721	0.789	213.8415
18	17	168.713	0.789	213.8314



**FIGURA 2.4 GRÁFICO VOLUMEN DE ALCOHOL ETÍLICO
VERSUS TIEMPO**

TABLA 8
MÍNIMOS CUADRADOS ALCOHOL ETÍLICO

$n = 18$	t	V	tV	t^2
	0	214.0266	0	0
	1	214.0114	214.0114	1
	2	214.0025	428.0050	4
	3	213.9911	641.9733	9
	4	213.9771	855.9084	16
	5	213.9645	1069.8225	25
	6	213.9543	1283.7258	36
	7	213.9416	1497.5912	49
	8	213.9340	1711.4720	64
	9	213.9226	1925.3034	81
	10	213.9087	2139.0870	100
	11	213.8998	2352.8978	121
	12	213.8871	2566.6452	144
	13	213.8757	2780.3841	169
	14	213.8643	2994.1002	196
	15	213.8517	3207.7755	225
	16	213.8415	3421.4640	256
	17	213.8314	3635.1338	289
Σ	153	3850.6859	32725.3006	1785

$$\Sigma V = nb + a\Sigma t \quad (2.14)$$

$$\Sigma tV = b\Sigma t + a\Sigma t^2 \quad (2.15)$$

Reemplazando:

$$\begin{cases} 3850.6859 = 18b + 153a \\ 32725.3006 = 153b + 1785a \end{cases}$$

$$b = 214.024$$

$$a = -1.14 \times 10^{-2}$$

y se tiene

$$V = -1.14 \times 10^{-2} t + 214.024 \quad (2.17)$$

$$E = G = 1.14 \times 10^{-2} \frac{cm^3}{min.} = 0.00068 \frac{L}{h}$$

$$E = G = 0.00068 \frac{L}{h}$$

2.4 Cálculo del Flujo de Aire Necesario para Diluir el Contaminante.

El caudal real de aire requerido para la dilución del contaminante está dado por la ecuación (2.8)

$$Q_R = \frac{24.45(d)(E)(10^6)(K)}{(PM)(TLV)} \quad (2.8)$$

Al tratar con más de un contaminante, se deben calcular los caudales para cada uno de ellos y luego sumarlos para obtener el caudal total de ventilación.

El TLV del Acetato de Etilo es 400 ppm (Fuente: Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales, Ricardo Goberna. 1992) y es considerada una sustancia moderadamente tóxica ya que su TLV se encuentra entre 100 y 500 ppm, mientras que el TLV del Alcohol Etilico es 1000 ppm y es considerada una sustancia ligeramente tóxica.

Como se mencionó anteriormente, el valor de K es un factor que se introduce en la ecuación debido a que la mezcla del contaminante con el aire no es completa y depende de la toxicidad del disolvente, la duración del proceso, la ubicación de los trabajadores con respecto a las fuentes de contaminación, entre otras consideraciones, y su valor está entre 1 y 10.

El valor tomado para K es 10, debido a las características del problema en cuestión, incluyendo la determinación experimental de las tasas de evaporación de los contaminantes.

Los valores para el Acetato de Etilo para la ecuación son los siguientes:

d : Densidad relativa 0.901

E : Velocidad o tasa de evaporación 0.00078 L/h

PM : Peso molecular 88.10

TLV : 400 ppm.

K : Factor de la mezcla del contaminante 10

Ingresando las cantidades en la ecuación con las unidades mencionadas, el Q_R se obtiene en m^3/h .

$$Q_R = \frac{24.45(d)(E)(10^6)(K)}{(PM)(TLV)}$$

$$Q_R = \frac{24.45(0.901)(0.00078 \frac{L}{h})(10^6)(10)}{(88.10)(400)}$$

$$Q_R = 4.88 \frac{m^3}{h}$$

Los valores para el Alcohol Etilico para la ecuación son los siguientes:

d: Densidad relativa 0.789

E: Velocidad o tasa de evaporación 0.00068 L/h

PM: Peso molecular 46.07

TLV: 1000 ppm.

K: Factor de la mezcla del contaminante 10

Ingresando las cantidades en la ecuación con las unidades mencionadas, el Q_R se obtiene en m^3/h .

$$Q_R = \frac{24.45(d)(E)(10^6)(K)}{(PM)(TLV)}$$

$$Q_R = \frac{24.45(0.789)(0.00068 \frac{L}{h})(10^6)(10)}{(46.07)(1000)}$$

$$Q_R = 2.85 \frac{m^3}{h}$$

Sumando los dos caudales se tiene un caudal total de $7.73 m^3/h$

Es decir, el caudal requerido para diluir el contaminante por debajo del límite TLV TWA es $7.73 \text{ m}^3/h$, equivalente a 4.6 cfm (pies cúbicos sobre minuto).

2.5 Distribución del Aire.

La distribución del aire para la dilución se lo realiza mediante ductos, tal como se muestra en el esquema de la figura 2.5. El caudal necesario para la dilución del contaminante se lo aproxima como 5 cfm . Este caudal es muy pequeño y por lo general no hay la disponibilidad de ventiladores que muevan dicho caudal. Por tal motivo y para efectos de asegurar completamente la dilución del contaminante y para efectos del diseño de los ductos, se sobredimensiona este caudal tomando en cuenta las capacidades de los ventiladores que normalmente están disponibles en el mercado. Tomando un caudal de 600 cfm , se tiene un factor de seguridad de 120, que es exagerado, pero que es necesario para los fines del diseño. Los 600 cfm es el caudal de aire que se va a impulsar y a extraer de la sala. La cantidad de aire que ingresa, es igual a la cantidad de aire extraído, es decir, se tendrá presión cero, el cuarto no estará a presión positiva ni negativa.

Entonces la impulsión y extracción se llevarán a cabo mediante sistemas de ventilación, es decir, con ventiladores, ductos, accesorios y filtros.

Para el diseño de la distribución del aire mediante ductos, aplico el método de equifricción. Este método consiste en mantener un valor constante para la caída de presión debido a la fricción, por longitud de ducto, y se mantiene constante en todas las secciones del sistema. El valor para la caída de presión que se selecciona se basa en la velocidad máxima permisible en el ducto cabezal que sale del ventilador para evitar demasiado ruido, según se muestra en la tabla 9, y que se la mantiene constante por toda la red de ductos.

TABLA 9

VELOCIDADES SUGERIDAS EN SISTEMAS CON BAJA VELOCIDAD. FUENETE SYSTEMS AND EQUIPMENT ASHRAE HANDBOOK & PRODUCT DIRECTORY

VELOCIDADES SUGERIDAS EN SISTEMAS CON BAJA VELOCIDAD						
Velocidades recomendadas, ft/min			Velocidades máximas, ft/min			
Componente	Residencias	Escuelas, teatros, edificios públicos	Construcciones industriales	Residencias	Escuelas, teatros, edificios públicos	Construcciones industriales
Entrada de aire exterior	500	500	500	800	900	1200
Filtros	250	300	350	300	350	350
Lavadores de aire	500	500	500	500	500	500
Descargas de ventilador	1000-1600	1300-2000	1600-2400	1700	1500-2200	1400
Ductos principales	700-900	1000-1300	1200-1800	800-1200	1100-1600	1300-2200
Ductos de ramal	600	600-900	800-1000	700-1000	800-1300	1000-1800
Subidas de ramal	500	600-700	800	650-800	800-1200	1000-1600

El esquema de la inyección y extracción de aire se muestra en la figura 2.5

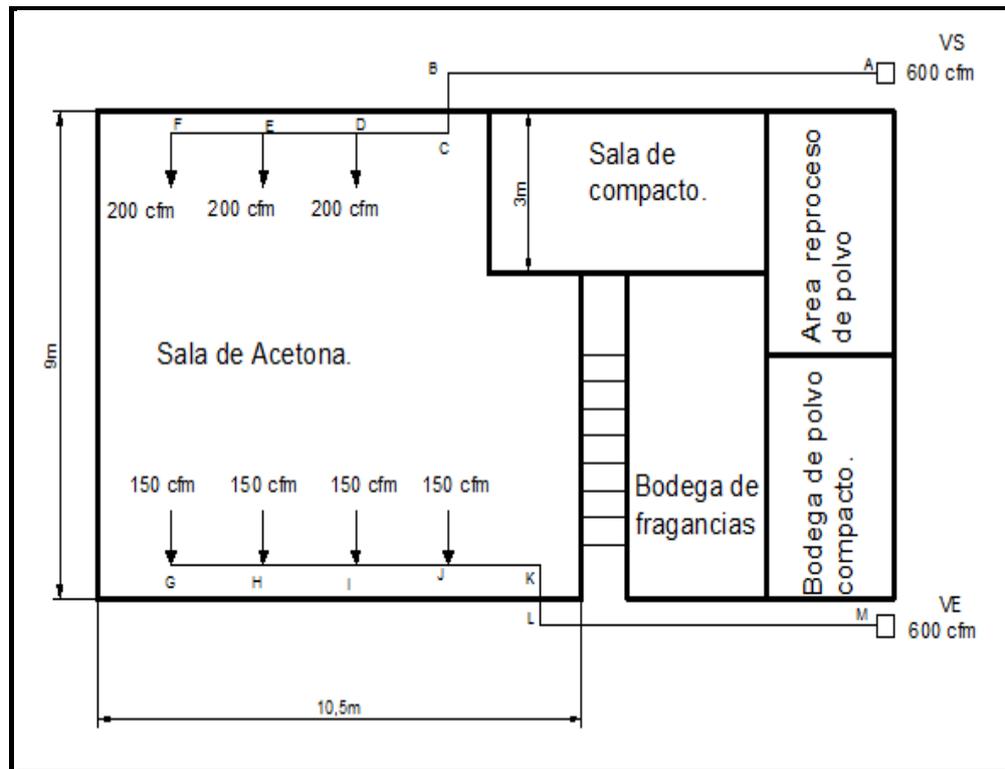


FIGURA 2.5 ESQUEMA DEL DISEÑO DE DUCTOS DE SUMINISTRO Y EXTRACCIÓN.

En el esquema se muestran los ductos en forma unifilar junto con los ventiladores de suministro VS y extracción VE, además del caudal de aire que va a fluir por cada uno de los difusores. Es decir, se tienen dos sistemas, uno de impulsión y otro de extracción.

Al realizar el diseño de un sistema de ventilación mediante ductos, se debe definir la ruta de los mismos así como también el caudal que se va entregar o a extraer por cada difusor o rejilla extractora.

Una vez hecho esto, se determina la pérdida o caída de presión debida a los tramos rectos, accesorios, filtros, ect y sumando todos estos valores se determina la caída de presión total de todo el sistema. Conociendo el caudal y la caída de presión total, se selecciona el ventilador que se necesita para impulsar o extraer el aire a través de la red de ductos.

Para conocer la caída de presión a través de los tramos rectos, existen unas tablas que en función de datos previamente conocidos como caudal, velocidad o diámetro, se puede determinar la caída de presión por unidad de longitud. Dichas tablas se muestran el apéndice A

Sistema de suministro o impulsión de aire.

Aplicando el método de equifricción para la impulsión de aire, el diseño que se tiene es el siguiente, junto con su esquema.

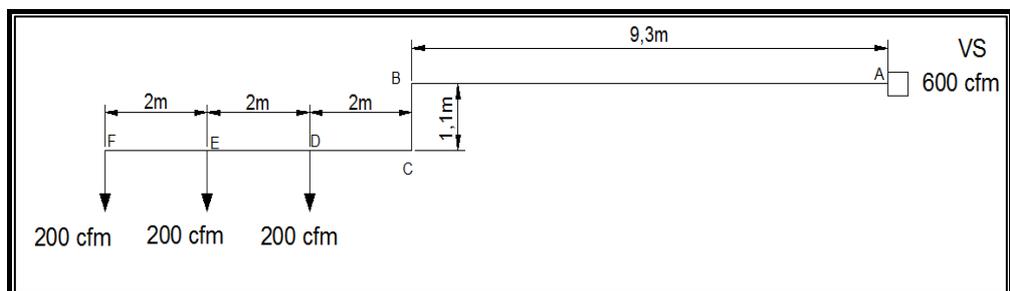


FIGURA 2.6 ESQUEMA DEL SISTEMA DE IMPULSIÓN DE AIRE.

Con un caudal de $Q = 600 \text{ cfm}$ y escogiendo una velocidad de diseño de 1200 ft/min a partir de la tabla 2.5 para el tramo AB, se tiene una caída de presión por cada 100 ft de 0.23 pulg agua (pulgadas de agua). Es decir:

$$\begin{cases} Q = 600 \text{ cfm} \\ v = 1200 \text{ ft/min} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \frac{h_f}{100 \text{ ft}} = 0.23 \text{ pulg agua} \\ \phi = 10 \text{ pulg} \end{cases}$$

Las tablas del apéndice B dan la caída de presión para ductos circulares. Si se desean ductos rectangulares, como es el caso del diseño, se debe recurrir a tablas que dan el diámetro de ductos redondos equivalentes. Es decir, dichas tablas dan una equivalencia entre ductos circulares y rectangulares de tal manera que se obtendría la misma caída de presión por unidad de longitud. Dicha tabla también se encuentra en el apéndice B y da la equivalencia entre ductos redondos y rectangulares para la misma caída de presión por unidad de longitud.

Con un diámetro de $10''$, el equivalente ducto rectangular tiene dimensiones de $12 \times 7''$ aproximadamente.

Entonces para el tramo AB se tiene:

$$L_{AB} = 9.3 \text{ m} \rightarrow h_{fAB} = \left(\frac{h_f}{100 \text{ ft}} \right) \left(9.3 \text{ m} \times \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} \right)$$

$$h_{fAB} = \left(\frac{0.23 \text{ pulg agua}}{100 \text{ ft}} \right) \left(9.3 \text{ m} \times \frac{1 \text{ ft}}{0.3048 \text{ m}} \right)$$

$$h_{fAB} = 0.07 \text{ pulg agua}$$

$$\text{Sección } AB = 12 \times 7 \text{ pulg}$$

Para el codo B y el codo C, la caída se obtiene por el método de coeficiente de pérdidas. Por este método, la caída de presión debida a un accesorio está dada por un coeficiente y por la correspondiente presión dinámica del fluido en el accesorio. Es decir:

$$h_{f \text{ acce}} = C(h_D) \quad (2.18)$$

Donde C es el coeficiente de pérdida, que se obtiene de las tablas en el apéndice B y h_D es la presión dinámica

$$h_D = (v/4000)^2 \quad (2.19)$$

v se expresa en ft/min y h_D queda expresada en $pulg \text{ agua}$.

Por lo tanto para el codo B y el codo C la caída de presión es:

$$h_{fB} = h_{fC} = 1.2 \left(\frac{1200 \text{ ft/min}}{4000} \right)^2 = 0.11 \text{ pulg agua}$$

Para el tramo BC, la caída de presión es

$$LBC = 0.59m \rightarrow h_f BC = \left(\frac{h_f}{100 ft} \right) \left(0.59 m \times \frac{1ft}{0.3048m} \right)$$

$$h_f BC = \left(\frac{0.23 \text{ pulg agua}}{100 ft} \right) \left(0.59 m \times \frac{1ft}{0.3048m} \right)$$

$$h_f BC = 0.0044 \text{ pulg agua}$$

Para el tramo CD, la caída de presión es

$$LCD = 2m \rightarrow h_f CD = \left(\frac{h_f}{100 ft} \right) \left(2 m \times \frac{1ft}{0.3048m} \right)$$

$$h_f CD = \left(\frac{0.23 \text{ pulg agua}}{100 ft} \right) \left(2m \times \frac{1ft}{0.3048m} \right)$$

$$h_f CD = 0.015 \text{ pulg agua}$$

Al final del tramo CD se entregan 200 *cfm*, y luego se tiene una reducción.

A partir de las tablas del apéndice B, con el caudal que queda y con la misma caída de presión por cada 100 pies, se puede determinar el diámetro y la velocidad del aire en el ducto luego de haber dejado 200 *cfm* al final del tramo CD. Se tiene:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = 400 \text{ cfm} \\ \frac{h_f}{100 ft} = 0.23 \text{ pulg agua} \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v = 1100 \text{ ft/min} \\ \phi = 9 \text{ pulg} \end{array} \right.$$

A partir de la tabla del apéndice B, se obtiene el ducto rectangular equivalente de 12x6 *pulg*.

Entonces para el tramo DE se tiene:

$$LDE = 2m \rightarrow h_f DE = \left(\frac{h_f}{100 ft} \right) \left(2m \times \frac{1ft}{0.3048m} \right)$$

$$h_f DE = \left(\frac{0.23 pulg agua}{100 ft} \right) \left(2m \times \frac{1ft}{0.3048m} \right)$$

$$h_f DE = 0.015 pulg agua$$

$$Sección DE = 12 \times 6 pulg$$

La reducción luego del tramo CD es de 12×7 a $12 \times 6 pulg$. A partir de la tabla del apéndice B, se determina la caída de presión debida a la reducción.

$$h_f redu = C(h_D) = 0.05 \left(\frac{1100 pies/min}{4000} \right)^2 = 0.0038 pulg agua.$$

Al final del tramo DE se entregan $2000 cfm$, y luego una reducción. Nuevamente a partir de las tablas del apéndice B, con el caudal que ahora queda y con la misma caída de presión por cada 100 pies, se puede determinar el diámetro y la velocidad del aire en el ducto luego de haber dejado $520 cfm$ al final del tramo CD. Se tiene:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = 200 cfm \\ \frac{h_f}{100 ft} = 0.23 pulg agua \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v = 900 ft/min \\ \phi = 7 pulg \end{array} \right.$$

A partir de la tabla de equivalencia entre ducto circular y rectangular del apéndice B, se obtiene el ducto rectangular equivalente de 12x4 *pulg.*

Entonces para el tramo EF se tiene:

$$L_{EF} = 2m \rightarrow h_{fEF} = \left(\frac{h_f}{100 \text{ ft}} \right) \left(2m \times \frac{1ft}{0.3048m} \right)$$

$$h_{fEF} = \left(\frac{0.23 \text{ pulg agua}}{100 \text{ ft}} \right) \left(2m \times \frac{1ft}{0.3048m} \right)$$

$$h_{fEF} = 0.015 \text{ pulg agua}$$

$$\text{Sección } EF = 12 \times 4 \text{ pulg}$$

La reducción luego del tramo DE es de 12 x 6 a 12 x 4 *pulg.* Con las tablas del apéndice B, se determina la caída de presión debida a la reducción.

$$h_{f\text{redu}} = C(h_D) = 0.05 \left(\frac{900 \text{ pies/min}}{4000} \right)^2 = 0.0025 \text{ pulg agua.}$$

Los resultados de las caídas de presión se resumen en la siguiente tabla.

TABLA 10
SISTEMA DE IMPULSIÓN DE AIRE. SALA DE ENVASADO DE
ACETONA

Impulsión. Caída de presión de la red de ductos (pulg agua)				
Q renovación = 600 cfm				
$h_f/100 ft = 0.23$ pulg agua				
Elemento	h_f (pulg agua)	Caudal (cfm)	Sección (pulg)	v (ft/min)
Tramo AB	0.07	600	12x7	1200
Codo B	0.11	600	12x7	1200
Tramo BC	0.0044	600	12x7	1200
Codo C	0.11	600	12x7	1200
Tramo CD	0.015	600	12x7	1200
Reducción D	0.0038	400	12x7 a 12x6	1100
Tramo DE	0.015	400	12x6	1100
Reducción E	0.0025	200	12x6 a 12x4	900
Tramo EF	0.015	200	12x4	900
Total (pulg agua)	0.35 pulg agua	-----	-----	-----
0.35 pulg agua			Caída de presión de la red de ductos.	

Una vez determinada la caída de presión a través de los ductos y accesorios, a ésta caída de presión se le añade las debidas a los difusores y al filtro de aire.

El filtro se ubica en la entrada o succión del ventilador de suministro o impulsión y su finalidad es evitar que materias contaminantes (material particulado, basura, objetos no deseados) ingresen al recinto junto con la corriente de aire impulsada.

Para poder tener una estimativa del filtro a colocar y de la respectiva caída de presión, se recurre a catálogos de fabricantes. Se toma como valor estimativo el del filtro del catálogo de Salvador Escoda escogiendo un filtro de alta eficacia de la serie Plegacard código KF 09 197, el mismo que se adapta al caudal requerido para el sistema y que provoca una caída de presión estimada en 250 Pa equivalentes a 1 *pulg agua*.

09 FILTROS ONDULADOS CON MARCO DE CARTÓN

Serie PLEGACARD

Características:

Clase UNI EN 779	G4
Clase EUROVENT	EU4
Am ASHRAE 52.1.1992	95%
Pérdida de carga final aconsejada	250 Pa
Pérdida de carga máxima	300 Pa
Temperatura máxima de ejercicio	80°C



FIGURA 2.7 FILTRO DE AIRE. FUENTE CATÁLOGO TÉCNICO SALVADOR ESCODA

En el diseño de los ductos se cuenta con tres difusores. Se recomienda que la velocidad del aire que sale por los difusores debe estar entre 500 y 600 *ft/min*. Tomando una velocidad de 600 *ft/min*, se tiene:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{200 \text{ cfm}}{600 \text{ ft/min}}$$

$$A = 0.33 \text{ ft}^2$$

Esto es equivalente a tener un difusor cuadrado con dimensiones de 8 × 8 *pulg*. Por lo tanto el sistema cuenta con tres difusores con dimensiones de 8 × 8 *pulg*. Mediante la información de un catálogo de difusores, se determina que la caída de presión provocada por los difusores se la estima en 0.014 *pulg agua*

Entonces considerando la caída de presión que provoca el filtro y la caída de presión de los ductos, la caída de presión de los difusores, la caída de presión total del sistema es:

$$h_T = h_{\text{ductos}} + h_{\text{filtro}} + h_{\text{difusor}} = (0.35 + 1 + 0.014) \text{ pulg agua.}$$

$$h_T = 1.36 \text{ pulg agua.}$$

Sistema de extracción de aire.

El esquema del sistema de extracción se muestra en la figura 2.8 El diseño del sistema de extracción es similar al de impulsión de aire, consta de ductos, rejillas extractoras y el ventilador. Este sistema se

diferencia del de impulsión por no tener filtro de aire y además el ventilador se ubica en sentido contrario al de impulsión. El procedimiento del dimensionamiento de este sistema es igual al de impulsión y los resultados se muestran en la tabla 11

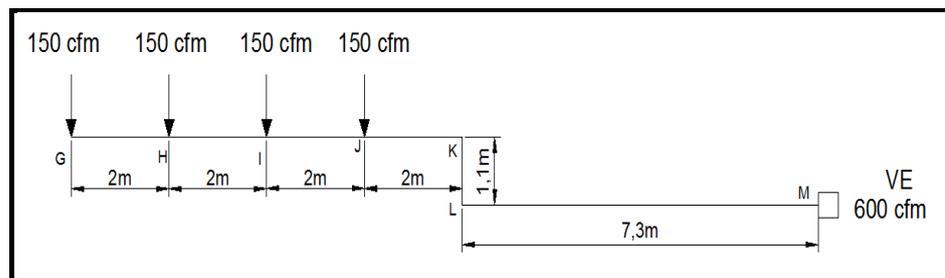


FIGURA 2.8 ESQUEMA DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AIRE.

En el sistema de extracción se cuentan con cuatro rejillas de extracción y la distribución de los mismos se puede apreciar en las figuras 2.5 y 2.8. Se utilizan cuatro rejillas para poder extraer el aire de una manera no tan centralizada debido a la forma de la sala de acetona y de esta forma evitar zonas en donde se concentre contaminantes.

TABLA 11
SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AIRE. SALA DE ACETONA.

Extracción. Caída de presión de la red de ductos (pulg agua)				
Q renovación = 600 cfm				
$h_f/100 ft = 0.23$ pulg agua				
Elemento	h_f (pulg agua)	Caudal (cfm)	Sección (pulg)	v (ft/min)
Tramo GH	0.015	150	12x3	900
Transición H	0.0025	150	12x3 a 12x5	900
Tramo HI	0.015	300	12x5	1000
Transición I	0.003	300	12x5 a 12x6	1000
Tramo IJ	0.015	450	12x6	1100
Transición J	0.0038	450	12x6 a 12x7	1100
Tramo JK	0.015	600	12x7	1200
Codo K	0.11	600	12x7	1200
Tramo KL	0.0044	600	12x7	1200
Codo L	0.11	600	12x7	1200
Tramo LM	0.055	600	12x7	1200
Total (pulg agua)	0.35 pulg agua	-----	-----	-----
0.35pulg agua			Caída de presión de la red de ductos.	

Para poder cumplir con el requerimiento de caudal de aire de dilución y con la distribución del mismo por medio de ductos, se necesitan de ventiladores que cumplan con los requerimientos de caudal y caída de presión.

Para el sistema de impulsión se requiere de un ventilador de 600 *cfm* y 1.35 *pulg agua* de caída de presión. Un ventilador acorde a estas condiciones es el modelo AB-200 del fabricante Calviño.

Para el sistema de extracción se requiere de un ventilador de 600 *cfm* y 0.36 *pulg agua* de caída de presión, en donde también se ha considerado la caída de presión estimada que ejercen los difusores, la cual se la toma igual a la de los difusores del sistema de inyección de aire. Un ventilador acorde a estas condiciones es modelo AB-200 del fabricante Calviño

En los apéndices se muestran tablas de selección de fabricantes de ventiladores, así como también los catálogos de los difusores.

CAPÍTULO 3

3. VENTILACIÓN POR EXTRACCIÓN PARA RECOLECCIÓN DE POLVO COSMÉTICO.

Se había mencionado que la compactación del polvo cosmético es una tarea que genera desperdicio de material, el mismo que no solo ve reflejado en la contaminación que este puede generar al esparcirse por el recinto, sino también en el desperdicio de materia prima que finalmente termina desechándose, ocasionando pérdidas para la empresa debido al proceso algo ineficiente de la compactación.

La necesidad de evitar la contaminación y el desperdicio de material, lleva al diseño que se planteó en el capítulo 1 y que será desarrollado en el presente capítulo.

La compactación se lleva a cabo mediante pequeñas máquinas en donde el polvo es depositado manualmente en cajas de polvo facial para luego ser prensado por la máquina. La materia prima llega almacenada en

fundas o tachos a partir de los cuales se manipula el polvo manualmente. Esta manipulación hace que el proceso este acompañado de desperdicio de material por más cuidado que se tenga. Las figuras 3.1 y 3.2 muestran la mesa de compactación y los tachos de almacenamiento del polvo.

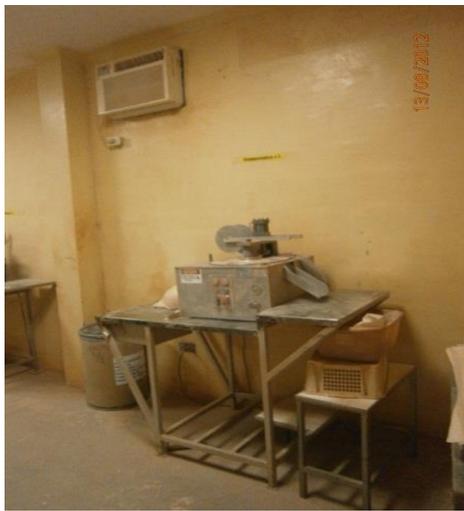


FIGURA 3.1 COMPACTADORA



FIGURA 3.2 ALMACENAMIENTO DE POLVO.

Un diseño de un sistema de ventilación industrial por extracción que permita recolectar el polvo esparcido así como también aislar la zona de compactación de tal manera que el contaminante no viaje por todo el recinto puede definirse mediante el esquema mostrado en la figura 3.3

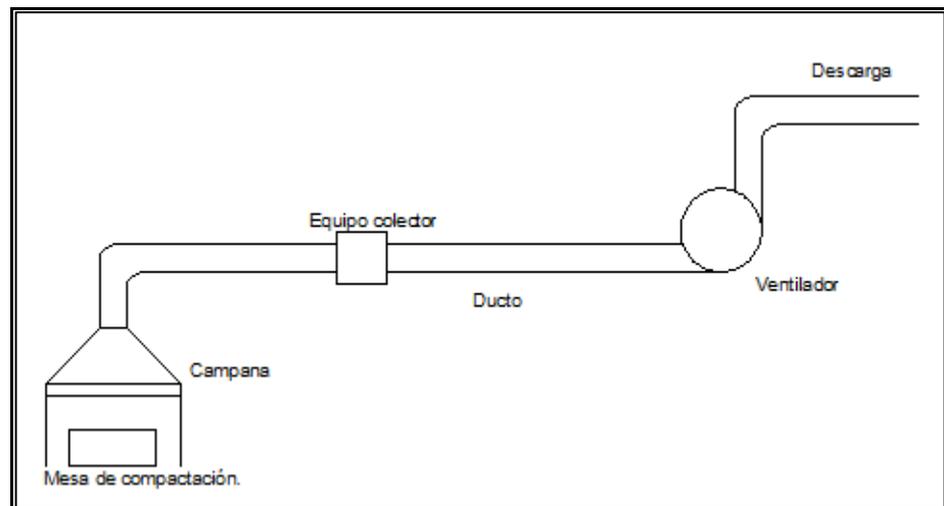


FIGURA 3.3 ESQUEMA DE SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA RECUPERACIÓN DE POLVO COSMÉTICO.

En el esquema se observa una campana extractora junto con una frontera de aislamiento, la mesa de compactación, ductos, un equipo colector y el ventilador. Mediante este sistema, se recolecta el polvo para evitar la contaminación al mismo tiempo que se recupera el material.

3.1 Características del Polvo.

El polvo cosmético es el material contaminante en esta tarea. El estar expuesto a este material trae consigo efectos como irritación de garganta, vistas, irritación de nariz, piel, etc.

Este polvo contiene mayoritariamente talco y sustancias como caolina, polvo de seda, a las cuales se les añade pigmentos para obtener una coloración y un polvo de mica para conseguir un

aspecto nacarado. Para que se adhieran a la piel, los polvos cosméticos contienen aglutinantes.

Los polvos cosméticos tienen un diámetro medio de 0.05 mm⁸ en promedio y una densidad no compactada. La densidad no compactada es aquella que tiene el polvo antes de someterse al proceso de compactación. Esta densidad se la obtuvo por diferencia de masa. Se utilizó una probeta de 10 ml en la que se depositó una muestra del polvo cosmético en cuestión. Se determinó la masa de la probeta, la masa del polvo y el volumen que ocupa el polvo en la probeta.

El cálculo de la densidad del polvo cosmético es el siguiente.

$$m \text{ probeta} = 31.5984 \text{ g}$$

$$m \text{ probeta} + m \text{ polvo} = 33.6165$$

$$V \text{ probeta} = 10 \text{ ml}$$

$$V \text{ polvo en la probeta} = 6.2 \text{ ml.}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{(m \text{ probeta} + m \text{ polvo}) - m \text{ probeta}}{V \text{ polvo en la probeta}}$$

$$\rho = \frac{33.6165 \text{ g} - 31.5984 \text{ g}}{6.2 \text{ ml}}$$

$$\rho = 0.33 \text{ g/ml} = 0.33 \text{ g/cm}^3$$

⁸ Patente de invención. Registro de propiedad intelectual de España. Procedimiento para la compactación de un polvo y cazoleta utilizada en este procedimiento.

El diámetro medio y la densidad del polvo, son parámetros importantes para el diseño del sistema de extracción.

3.2 Diseño de Forma del Sistema de Extracción.

En esta sección se define la forma del diseño de ventilación por extracción. La figura 3.2 muestra un esquema del sistema, sin entrar en detalles como dimensiones, forma y tipos de equipos.

En esta sección se presenta el diseño y se desarrollan los cálculos del caudal, velocidad en ductos, tamaño de ductos, caída de presión, diseño de la campana, diseño del equipo colector, selección del ventilador.

Como equipo colector se había seleccionado al ciclón por tener una alta eficiencia para partículas como las del polvo cosmético, ocupar poco espacio, bajo costo de inversión, entre otras. La figura 3.4 muestra un gráfico del sistema de ventilación para recuperación del polvo cosmético.

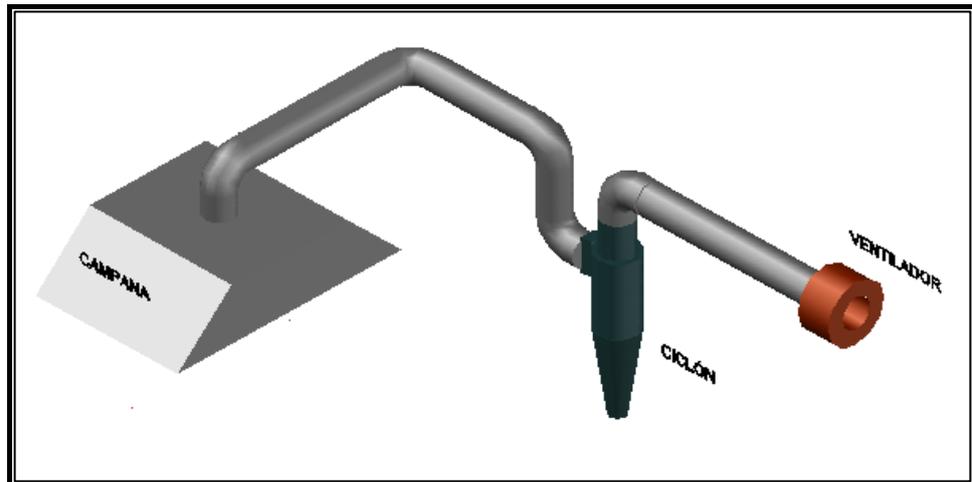


FIGURA 3.4 SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA RECOLECCIÓN DE POLVO COSMÉTICO.

El diseño de este sistema se inicia con el diseño de la campana, pues a partir de ella, se puede determinar el caudal de aire necesario para aspirar el aire junto con el contaminante.

3.2.1 Diseño de la Campana.

Como campana se denomina a cualquier dispositivo que permita capturar un contaminante independientemente de la forma de la misma.

El término campana se usa en forma general, incluyendo cualquier abertura de succión sin importar su forma o tamaño que permite que el aire capturado ingrese al sistema de

conductos. El objetivo de la campana es crear un flujo de aire para capturar al contaminante y conducirlo hacia ella.

Para diseñar la campana se debe determinar:

- La ubicación de la misma frente al proceso.
- La forma y el tamaño.
- El caudal de aspiración.

Las campanas pueden denominarse como:

- a) Campanas de procesos confinados.
- b) Cabinas
- c) Campanas exteriores.

Las campanas de procesos confinados son aquellas que encierran de la forma más completa posible al contaminante que debe controlar.

Las cabinas son aquellas que presentan un frente total o parcialmente abierto para poder tener acceso al respectivo proceso. Estas son muy usadas en lo que se refiere a asaderos y cocinas.

Las campanas exteriores son aquellas que pueden capturar los contaminantes cuando la fuente de los mismos está fuera de sus límites, como por ejemplo las campanas suspendidas que son utilizadas en procesos que no liberan calor.

Para el sistema de ventilación por extracción se requiere de una campana que pueda capturar el contaminante y que a la vez permita realizar los trabajos de compactación del polvo cosmético en la respectiva compactadora que se muestra en la figura 3.1

El diseño elegido para la campana es aquella campana exterior o campana suspendida por debajo de la cual estará la zona de trabajo, la compactadora junto con los trabajadores, y adicionalmente, ésta estará cercada por cortinas que permitan aislar la zona de trabajo para evitar que el polvo cosmético desperdiciado se esparza por el resto de la habitación, algo similar a lo mostrado en la fotografía de la figura 3.5



FIGURA 3.5 CAMPANA SUSPENDIDA CON CORTINAS AISLADORAS DE LA ZONA DE TRABAJO.

Como se muestra en el esquema de la figura 3.3, la campana estará suspendida sobre la mesa de compactación y a la vez constará con cortinas que aislaran la zona de trabajo del resto de la habitación. Esta campana se ubicará con uno de sus extremos junto a una pared, por lo que se tendrá una campana suspendida de tres laterales abiertos.

Esta campana se adaptará a un ducto, el mismo que conducirá la corriente de aire y polvo cosmético hacia el equipo colector para la posterior recuperación del material particulado.

Una vez determinada la ubicación, se procede a determinar el tamaño de la misma. El tamaño de la misma dependerá de las dimensiones de la fuente, en este caso la mesa de

compactación, y de las dimensiones de la sala de compactación. La sala de compactación tiene un área de $6m \times 3m$ y una altura de $2.8m$.

A partir de estos parámetros, se dimensiona el tamaño de la campana.

Para campanas suspendidas, se recomienda que éstas tengan una configuración con respecto a la fuente, como se muestra en la figura 3.6

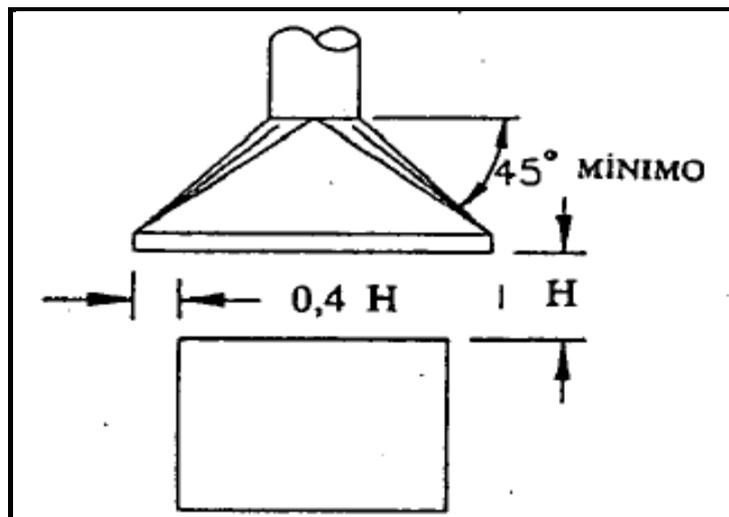


FIGURA 3.6 CAMPANA SUSPENDIDA SOBRE UNA FUENTE
AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

Como se puede ver en la figura anterior, la campana debe exceder por los extremos el tamaño de la fuente en 0.4 veces la distancia vertical desde la fuente hasta la parte inferior de la campana.

Para el modelo del diseño, la mesa de compactación es considerada como la fuente. La longitud de la mesa de compactación es 1.4 m y 0.6 m de profundidad y con una altura con respecto al suelo de 0.8m .La altura h desde la mesa de compactación hasta la campana se considera como de 1 m, valor que se toma por consideraciones del espacio que ofrece la sala de compactación además de facilidad y comodidad para realizar la labor de la compactación.

Tomando en cuenta las dimensiones de la mesa de compactación y los parámetros para campanas suspendidas, el diseño es el siguiente.

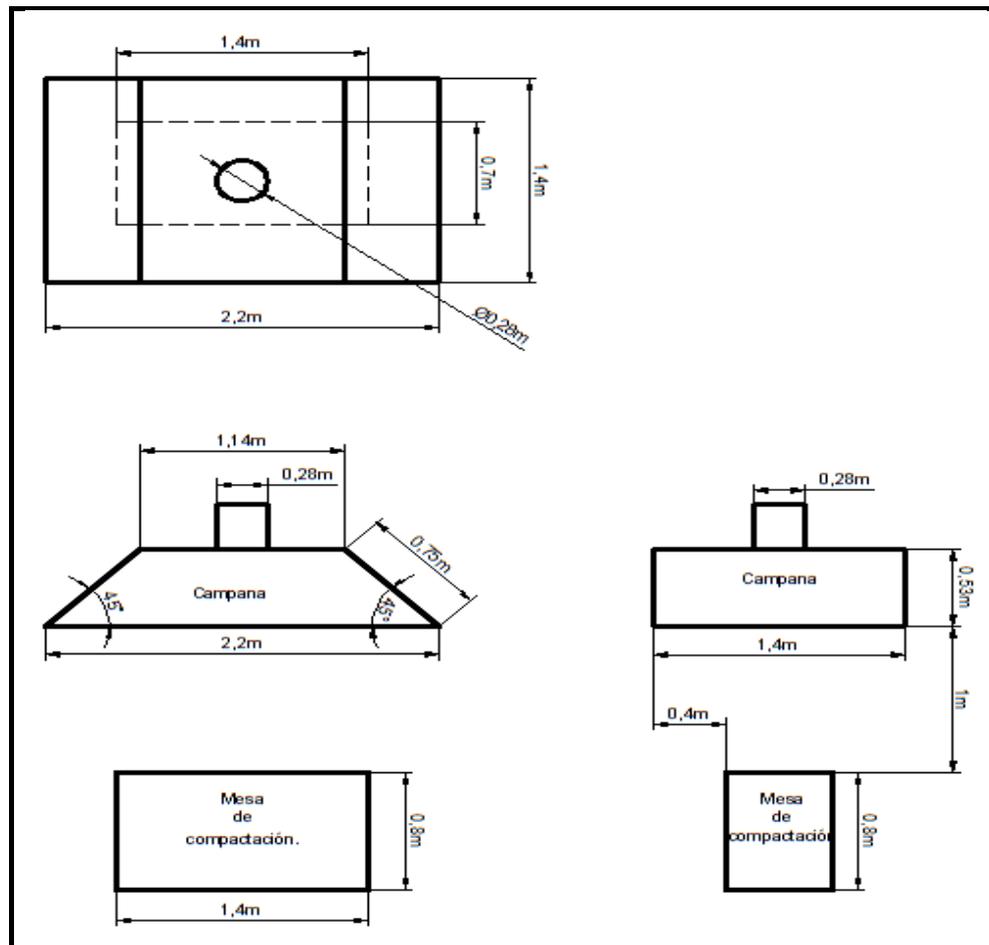


FIGURA 3.7 DISEÑO DE LA CAMPANA

La campana genera una caída de presión conocida como pérdidas de entrada. Esta pérdida de entrada se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$h_{camp} = (k_{ent} + 1) h_D \quad (3.1)$$

Donde k_{ent} es el coeficiente o factor de pérdida de entrada a la campana y h_D es la altura o cabezal de presión dinámico

correspondiente a la velocidad del aire en el ducto que se conecta con la campana. El coeficiente de pérdida se lo obtiene mediante los gráficos y tablas del apéndice B.

Conociendo las dimensiones de la campana, se puede ahora determinar el caudal de aspiración necesario para poder captar el contaminante.

3.2.2 Cálculo del Caudal de Aire a Extraer.

El diseño del sistema de extracción cuenta con una campana limitada por una frontera, una red de ductos, un equipo colector y el ventilador.

El caudal de aire necesario para poder extraer el contaminante está en función de las dimensiones de la campana y de la velocidad de control o captura.

La velocidad de control o de captura es la velocidad mínima del aire, inducida en las proximidades de la campana, que es necesaria para capturar y dirigir hacia ella el aire contaminado. Esta velocidad de captura está en función de la

actividad y de la forma de la campana. La tabla 12 muestra los valores para las velocidades de control.

TABLA 12
VELOCIDADES DE CONTROL O DE CAPTURA

Condiciones de dispersión del contaminante.	Ejemplo	Velocidad de captura, m/sg
Liberado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo	Evaporación desde depósitos; desengrase, etc	0.25-0.5
Librado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo	Cabinas de pintura; llenado intermitente de recipientes; transferencia entre cintas transportadoras a baja velocidad, soldadura; recubrimientos superficiales.	0.5-1
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire	Cabinas de pintura poco profundas; llenado de barriles; carga de cintas transportadoras; machacadoras.	1-2.5
Librado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido del aire.	Desbardado; chorreado pasivo; desmoldeo en fundiciones	2.5-10

En el diseño se tiene la campana apoyada a la pared, se trata de una campana suspendida de tres laterales abiertos, por lo tanto el caudal de aire a extraer es:

$$Q = v(l + 2a)h \quad (3.2)$$

Donde

l es longitud de la campana paralela a la pared en m

a es la longitud de la campana perpendicular a la pared en m

v es la velocidad de control o de captura en m/sg

h es la distancia entre el foco de contaminación y la campana en m .

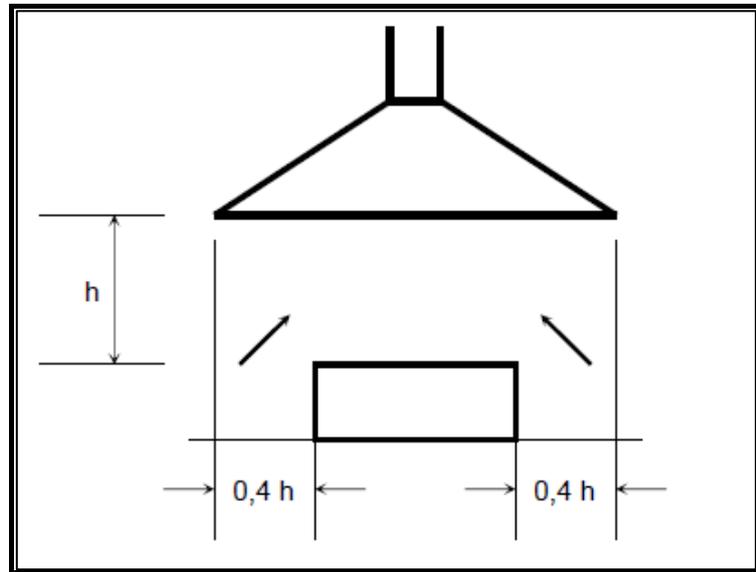


FIGURA 3.8 CAMPANA SUSPENDIDA

De acuerdo al diseño del sistema de extracción, captación de polvo cosmético desperdiciado en la compactación, la condición de dispersión del contaminante es aquella en la que el mismo es liberado sin velocidad en aire tranquilo.

Escogiendo la velocidad de captura de 0.25 m/sg y $h = 1\text{m}$, el caudal de aire a extraer es

$$Q = v(l + 2a)h = 0.25 \text{ m/sg}(2.2\text{m} + 2(1.4\text{m}))(1\text{m})$$

$$Q = 1.25 \text{ m}^3/\text{sg}$$

Con el caudal de aire a extraer, se determina el tamaño de los ductos para transportar el polvo a través de la corriente de aire desde la el punto de compactación hasta la entrada al ciclón o equipo colector.

3.2.3 Ecuación de la Energía y Determinación de Caídas de Presión.

El diseño de ductos comprende determinar el diámetro de los ductos en función del caudal y de una velocidad de diseño o transporte del material junto con el aire a través de los ductos. En el diseño de los ductos se consideran las pérdidas de presión que se tendrán al hacer fluir el aire por los ductos. Esta caída de presión es compensada con la energía que es suministrada por un ventilador para poder transportar un volumen determinado de aire desde un punto a otro.

El transporte del aire desde un punto a otro se puede modelar mediante la ecuación de la energía, basada en la ecuación de Bernoulli, la cual es una relación aproximada entre la presión, la velocidad y la elevación, y es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible en donde las

fuerzas netas de fricción son despreciables, a lo largo de una línea de corriente.

Una línea de corriente es la trayectoria tomada por una partícula de fluido bajo flujo estable o estacionario y en donde las velocidades de las partículas siempre son tangentes a dicha línea de corriente. Un flujo estable o estacionario es aquel flujo en el que una partícula A al pasar por un determinado punto 1 tendrá unas condiciones o propiedades independientes como presión, temperatura, volumen específico, etc , que una partícula B que pasará por ése mismo punto 1 pero en un tiempo posterior. Es decir, por el punto 1 pueden pasar las partículas A, B, C, etc , una posterior a otra, y las condiciones termodinámicas de todas esas partículas en el punto 1, serán las mismas.

La ecuación de la energía se expresa matemáticamente como

$$P_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} + \rho gh_1 = P_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \rho gh_2 \quad (3.3)$$

Es decir, la ecuación de la energía representa una constante entre cualesquiera dos puntos a lo largo de una línea de corriente.

La ecuación de Bernoulli puede concebirse como una expresión del balance de energía mecánica en que la suma de la presión, la energía cinética por unidad de volumen y la energía potencial por unidad de volumen tienen el mismo valor en todos los puntos a lo largo de una línea de corriente.

Cada término de la ecuación (3.3) tiene unidades de presión, y son denominadas de la siguiente manera:

P_1, P_2 son las presiones estáticas. Representan las presiones termodinámicas reales del fluido. Es decir, es la presión que “siente” la tubería al pasar el fluido a través de ella, como si el fluido tendiera a hacerla expandir.

$\rho \frac{v_1^2}{2}, \rho \frac{v_2^2}{2}$ son las presiones dinámicas. Representan el aumento en la presión cuando el fluido en movimiento choca contra un punto imaginario situado en el centro de la sección transversal de la tubería.

$\rho gh_1, \rho gh_2$ son las presiones hidrostáticas o más conocidas como los potenciales hidrostáticos. Es decir, es la cantidad de energía que tiene un fluido debido a su altura o posición respecto de un nivel de referencia y que puede convertirse o

transformarse en otro tipo de energía, como por ejemplo la cinética.

Reacomodando la ecuación (3.3) al expresar el producto ρg como el peso específico γ , se llega a

$$P_1 + \frac{\gamma v_1^2}{2g} + \gamma z_1 = P_2 + \frac{\gamma v_2^2}{2g} + \gamma z_2 \quad (3.4)$$

Expresando la ecuación anterior con respecto a la presión atmosférica se tiene

$$P_1 - P_{atm} + \frac{\gamma v_1^2}{2g} + \gamma z_1 = P_2 - P_{atm} + \frac{\gamma v_2^2}{2g} + \gamma z_2 \quad (3.5)$$

$$p_1 + \frac{\gamma v_1^2}{2g} + \gamma z_1 = p_2 + \frac{\gamma v_2^2}{2g} + \gamma z_2 \quad (3.6)$$

donde p_1 es la presión estática referida o con respecto a la presión atmosférica.

Al utilizar la ecuación de la energía para el flujo de aire se asume que el aire es un fluido incomprensible y que además la densidad del aire cambia en pequeñísimas cantidades por

lo que los potenciales hidrostáticos pueden considerarse prácticamente constantes. Entonces la ecuación de la energía cambia a

$$p_1 + \frac{\gamma v_1^2}{2g} = p_2 + \frac{\gamma v_2^2}{2g} \quad (3.7)$$

Al dividir la ecuación (3.7) para el peso específico del agua γ_a se tiene

$$\frac{p_1}{\gamma_a} + \frac{\gamma v_1^2}{\gamma_a 2g} = \frac{p_2}{\gamma_a} + \frac{\gamma v_2^2}{\gamma_a 2g} \quad (3.8)$$

$$\frac{\rho_1 g h_1}{\rho_a g} + \frac{v_1^2 \rho_1 g}{2g \rho_a g} = \frac{\rho_2 g h_2}{\rho_a g} + \frac{v_2^2 \rho_2 g}{2g \rho_a g}$$

$$\frac{\rho_1 h_1}{\rho_a} + \frac{v_1^2 \rho_1}{2g \rho_a} = \frac{\rho_2 h_2}{\rho_a} + \frac{v_2^2 \rho_2}{2g \rho_a} \quad (3.9)$$

Al expresar la altura de la columna de aire en términos de la altura de columna de agua al igualar la presión ejercida por una columna de aire con la presión ejercida por una columna de agua se tiene:

$$p_1 = p_{a1}$$

$$p_2 = p_{a2}$$

$$\rho_1 g h_1 = \rho_a g h_{a1}$$

$$\rho_2 g h_2 = \rho_a g h_{a2}$$

$$h_{a1} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_a}\right) h_1$$

$$h_{a2} = \left(\frac{\rho_2}{\rho_a}\right) h_2$$

Ahora la ecuación de la energía queda como

$$h_{a1} + \frac{v_1^2 \rho_1}{2g \rho_a} = h_{a2} + \frac{v_2^2 \rho_2}{2g \rho_a} \quad (3.10)$$

Generalizando

- h_a es la presión estática con respecto a la presión atmosférica expresada en metros de columna de agua. A esta presión se la conoce como cabezal estático y se la representa como h_E .
- $\frac{v^2 \rho}{2g \rho_a}$ es la presión dinámica con respecto a la presión atmosférica expresada en metros de columna de agua.

Al multiplicar la ecuación (3.10) por 1000 para expresar los cabezales en milímetros de columna de agua y reemplazando la densidad del agua por 1000 kg/m^3 se tiene:

$$ha_1(1000) + \frac{v_1^2}{2g} \frac{\rho_1}{1000}(1000) = ha_2(1000) + \frac{v_2^2}{2g} \frac{\rho_2}{1000}(1000)$$

$$ha_1 + \frac{v_1^2}{2g} \rho_1 = ha_2 + \frac{v_2^2}{2g} \rho_2 \quad (3.11)$$

Reemplazando el valor de la gravedad por $9.8m/s^2$ y la densidad del aire a condiciones estándares por $1.2 kg/m^3$ se tiene

$$ha_1 + \frac{1.2v_1^2}{2(9.8)} = ha_2 + \frac{1.2v_2^2}{2(9.8)}$$

$$ha_1 + \frac{1.2v_1^2}{19.6} = ha_2 + \frac{1.2v_2^2}{19.6} \quad (3.12)$$

La ecuación (3.12) queda expresada en términos de cabezales y en milímetros de columna de agua *mmcda*.

Generalizando para el cabezal dinámico h_D como $1.2 v^2/19.6$, y dividiendo para 1.2 tanto en el numerador como en el denominador se llega

$$h_D = \frac{1.2 v^2/1.2}{19.6/1.2}$$

$$h_D = \frac{v^2}{16.33}$$

$$h_D = \left(\frac{v}{4.043}\right)^2 \text{ mmcda} \quad (3.13)$$

Donde la velocidad v se expresa en m/sg .

Ahora la ecuación (3.12) se puede escribir como

$$h_{E1} + h_{D1} = h_{E2} + h_{D2}$$

Es decir, la suma de la presión estática y la presión dinámica permanece constante a lo largo de una línea de corriente y por ende es la misma entre dos puntos cualesquiera.

En el desarrollo para llegar a la ecuación (3.12) se han considerado ciertas asunciones como que el flujo de aire no es viscoso, por lo tanto las fuerzas de fricción son despreciables, que el flujo es estacionario e incompresible.

Si ahora se consideran las pérdidas por fricción entre los puntos 1 y 2, la ecuación (3.12) se vuelve

$$h_{E1} + h_{D1} = h_{E2} + h_{D2} + h_f \quad (3.13)$$

donde h_f es el cabezal o caída de presión que experimenta el fluido debido a la fricción al transportarse desde el punto 1 al punto 2, expresada en *mmcda*.

La suma de las presiones estática y dinámica se puede expresar como una presión total, es decir:

$$h_T = h_E + h_D \quad (3.14)$$

Por lo tanto se tiene

$$h_{T1} = h_{T2} + h_f \quad (3.15)$$

A partir de la ecuación de la energía se pueden se pueden determinar las presiones entre cualesquiera dos puntos de una trayectoria que deben ser tomadas en cuenta en el diseño de ductos. El término h_f representa las pérdidas debido a la fricción entre el fluido y los ductos, ya sea con tramos rectos o con accesorios como codos, derivaciones, reducciones, entre otros.

La caída de presión a través de los ductos se determina mediante la suma de la caída de presión debido a los tramos rectos más la caída de presión debida a los accesorios y más la caída de presión debida a las pérdidas de entrada.

Las caídas de presión son expresadas en términos de cabezal estático. Los cabezales estáticos son definidos de la siguiente manera:

- h_1 o h_E es la caída de presión o cabezal estático debido a los tramos rectos expresado en *mmcda*
- h_2 o h_D es la caída de presión o cabezal estático debido a los accesorios expresado en *mmcda*
- h_3 o h_{ent} es la caída de presión o cabezal estático debido a las pérdidas de entrada a la campana expresado en *mmcda*.

Por lo tanto, la caída de presión total expresada en términos de cabezal a través de los ductos está dada por:

$$h_{Et} = h_1 + h_2 + h_3 \quad (3.16)$$

Las pérdidas de presión en tramos rectos se puede obtener a partir de tablas que en función del caudal, velocidad del aire y diámetro de los ductos, se obtiene un factor de pérdida de presión en milímetros de columna de agua por cada metro, *mmcda/m*, que al multiplicarlo por la longitud del ducto, se obtiene la caída de presión en *mmcda* Estas tablas

se encuentran en el apéndice A. También hay tablas que dan el factor de pérdida de presión en pulgadas de agua por cada 100 pies de longitud.

Entonces la caída de presión debido a los tramos h_1 está dada por

$$h_1 = h_{FL}(L) \quad (3.17)$$

Donde h_{FL} es el factor pérdida de presión en *mmcda/m* y L es la longitud del tramo recto.

Para calcular la caída de presión debido a los accesorios se recurre a un factor de pérdida C que se obtiene de tablas y gráficos que se encuentran en el apéndice B

La caída o pérdida de presión en los accesorios viene dada por

$$h_2 = C \left(\frac{v}{4000} \right)^2, \text{ pulg agua} \quad (3.18)$$

en donde v se expresa en *pies/min*. Esta caída de presión puede convertirse a *mmcda*.

Finalmente, las pérdidas de entrada son calculadas como en la sección (3.2.1). Para el caso del diseño del sistema, las pérdidas de entrada son aquellas aplicadas a una campana.

El cálculo de la caída de presión en tramos rectos y accesorios en el sistema es desarrollado junto con el diseño del ciclón o equipo colector, ya que los diámetros y velocidades con las que el aire y el material es transportado están en función del diseño de este equipo. En la siguiente sección se desarrolla el diseño del ciclón junto con las caídas de presión a lo largo del sistema de extracción.

3.2.4 Diseño del ciclón y de los ductos.

El ciclón es el equipo colector de sistema de control de contaminación que fue seleccionado para el diseño del sistema de ventilación por extracción.

Los ciclones son los equipos de recolección de polvo que se usan con mayor frecuencia. Los ciclones remueven el material particulado de la corriente gaseosa, por medio de impacto inercial, generado por la fuerza centrífuga y constituyen uno de los medios menos costosos para la

recolección de polvo, tanto desde el punto de vista de operación como de la inversión.

Los ciclones son adecuados para separar partículas con diámetros mayores de $5\mu m$, sin embargo algunos ciclones pueden recolectar partículas más pequeñas.

En un ciclón, la trayectoria del gas comprende un doble vértice, en donde el gas dibuja una espiral descendente en el lado externo y ascendente en el lado interno.

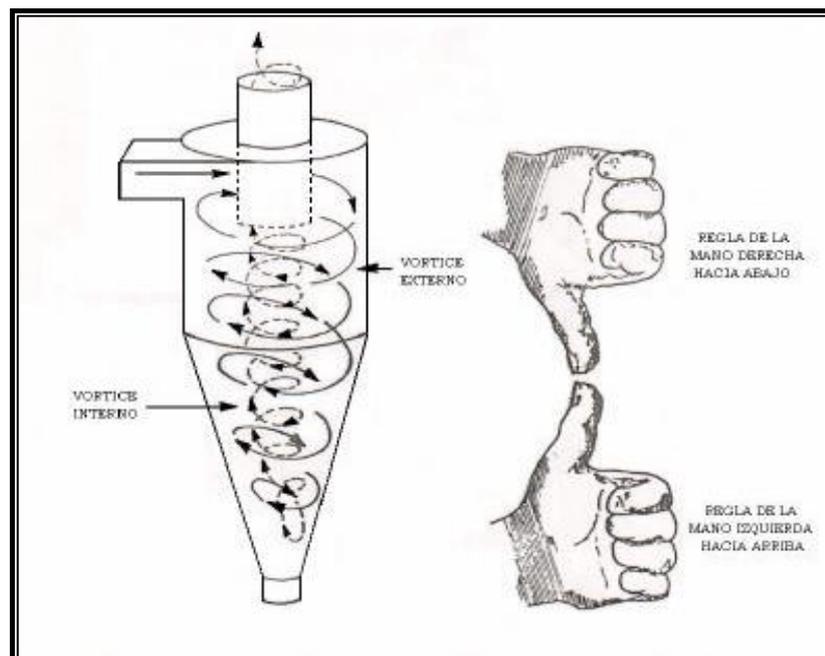


FIGURA 3.9 CICLÓN.

En un ciclón el gas ingresa tangencialmente y desciende en espirales hasta que alcanza la cúspide de la sección cónica

para luego descender por otro espiral, con un diámetro más pequeño y sale por la parte superior a través de un ducto vertical centrado. Los sólidos se mueven radialmente hacia las paredes donde se deslizan y son recogidos en la parte inferior. La figura 3.9 ilustra el funcionamiento de un ciclón.

El diseño de un ciclón se basa en familias de ciclones que tienen proporciones definidas y que su diseño está indexado al diámetro del mismo.

Los ciclones se clasifican en:

- Ciclones de alta eficiencia.
- Ciclones convencionales.
- Ciclones de alta capacidad.

Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para recolectar partículas de menor tamaño que los ciclones convencionales, pudiendo remover partículas menores a $5\mu m$ alcanzando eficiencias de hasta el 90%, sin embargo ocasionan mayores caídas de presión, lo que lleva consigo mayores costos de energía. Los ciclones de alta capacidad están garantizados para remover partículas mayores a $20\mu m$, pudiendo recolectar partículas más pequeñas.

A partir de la tabla 3.2 se pueden diseñar los ciclones en función de la dimensión básica como lo es el diámetro del ciclón y de la figura 3.10 que muestra las características y dimensiones de un ciclón.

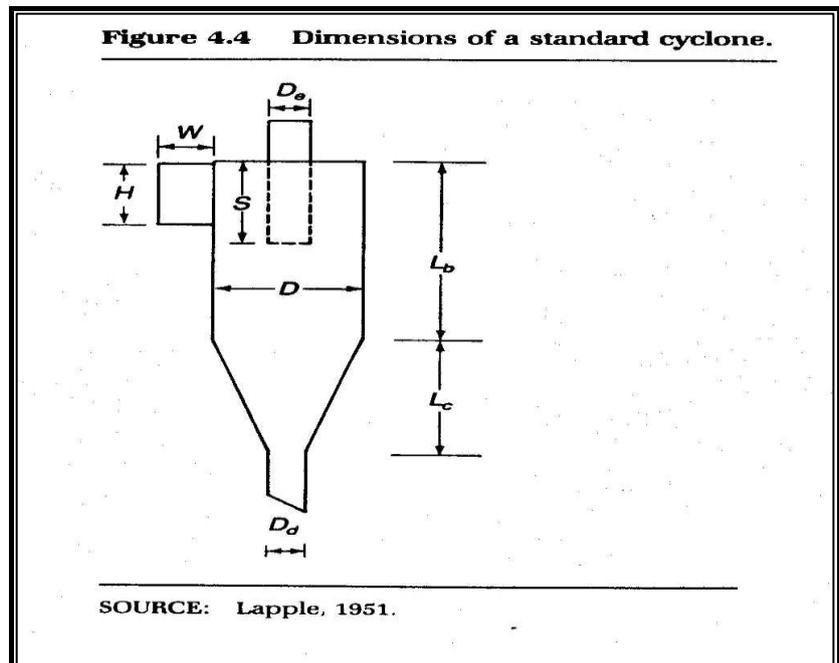


FIGURA 3.10 DIMENSIONES DE UN CICLÓN

TABLA 13
CARACTERÍSTICAS DE LOS CICLONES

TIPOS DE CICLONES.						
Dimensiones del ciclón.	Alta Eficiencia		Convencional		Alta Carga	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Diámetro del ciclón D/D	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura de la entrada H/D	0.5	0.44	0.5	0.5	0.75	0.8
Ancho de la entrada W/D	0.2	0.21	0.25	0.25	0.375	0.35
Diámetro de salida De/D	0.5	0.4	0.5	0.5	0.75	0.75
Altura de la salida S/D	0.5	0.5	0.625	0.6	0.875	0.85
Longitud del cuerpo Lb/D	1.5	1.4	2.0	1.75	1.5	1.7
Longitud del cono Lc/D	2.5	2.5	2.0	2.0	2.5	2.0
Diámetro de salida de partículas Dd/D	0.375	0.4	0.25	0.4	0.375	0.4

El diseño del ciclón está relacionado con el diseño de ductos. Las velocidades con las que ingresa y sale el aire del ciclón, son parámetros importantes en el diseño del sistema de extracción y por ende en el diseño de los ductos.

El diseño del ciclón está sugestionado para esta aplicación del tamaño que pueda tener de tal manera que ocupe el menor espacio posible. Por tal motivo la velocidad de ingreso al ciclón es de gran importancia ya que con una velocidad

relativamente alta, se tendrá una entrada pequeña al ciclón lo que implica un diámetro y longitud relativamente bajos.

Luego de un procedimiento de prueba y error tomando una velocidad de entrada de 30 m/sg y escogiendo de la tabla 12 al ciclón de alta capacidad para el diseño, se tiene:

$$Q = 1.25 \text{ m}^3/\text{sg}$$

$$v_i = 30 \frac{\text{m}}{\text{sg}}$$

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = HW$$

$$\frac{H}{D} = 0.8, \quad \frac{W}{D} = 0.35$$

$$H = 2.29W$$

$$A = 2.29 W^2 = \frac{Q}{v}$$

$$W = \sqrt{\frac{Q}{2.29 v}} = \sqrt{\frac{1.25 \text{ m}^3/\text{sg}}{(2.29) (30 \text{ m}/\text{sg})}}$$

$$W = 0.135 \text{ m} \rightarrow H = 2.29W = (2.29)(0.135\text{m}) = 0.31\text{m}$$

$$H = 0.31\text{m}$$

$$\frac{H}{D} = 0.8 \rightarrow D = \frac{H}{0.8} = \frac{0.31\text{m}}{0.8} = 0.39\text{m} \rightarrow D = 0.39\text{m}$$

$$\frac{De}{D} = 0.75 \rightarrow De = 0.75 D = (0.75)(0.39\text{m}) = 0.29\text{m}$$

$$De = 0.29 \text{ m}$$

$$\frac{S}{D} = 0.85 \rightarrow S = (0.85)(0.39m) = 0.33 m$$

$$S = 0.33 m$$

$$\frac{Lb}{D} = 1.7 \rightarrow Lb = (1.7)(0.39m) = 0.66 m$$

$$Lb = 0.66 m$$

$$\frac{Lc}{D} = 2 \rightarrow Lc = (2)(0.39m) = 0.78m$$

$$Lc = 0.78 m$$

$$\frac{Dd}{D} = 0.4 \rightarrow Dd = (0.4)(0.39 m) = 0.16 m$$

$$Lt = Lb + Lc = 0.66m + 0.78m = 1.44 m$$

$$Lt = 1.44 m$$

Entonces el ciclón diseñado corresponde a uno de alta capacidad con las siguientes dimensiones:

$$Lt = 1.44 m$$

$$D = 0.39 m$$

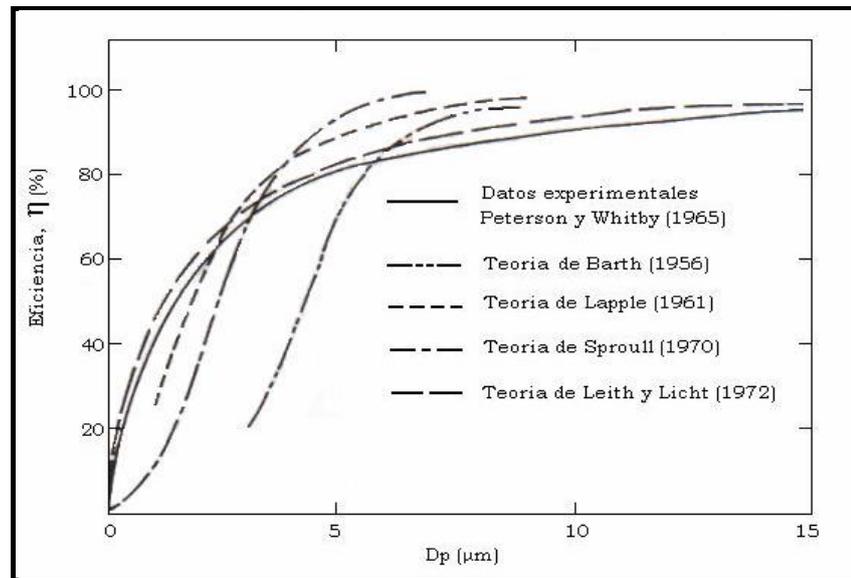
$$De = 0.29 m$$

$$Dd = 0.16 m$$

Un parámetro importante en un ciclón es la eficiencia de colección de partículas. Mientras más grande sea el tamaño de las partículas, mayor será la eficiencia del ciclón.

La eficiencia de colección de los ciclones varía en función del tamaño de la partícula y del diseño del ciclón y aumenta con el tamaño de la partícula, la longitud del cuerpo del ciclón, la velocidad de entrada, el número de revoluciones del gas en el ciclón, la proporción del diámetro del cuerpo del ciclón al diámetro del conducto de la salida del gas; y la eficiencia de colección disminuye con el aumento de la viscosidad del gas, el diámetro del cuerpo del ciclón, el diámetro de la salida del gas, la densidad del gas.

Existen varias teorías para determinar la eficiencia del ciclón, las cuales relacionan la eficiencia de colección en función del tamaño de las partículas. La figura 3.11 presenta una comparación gráfica de resultados experimentales con las teorías de la eficiencia de colección en función del tamaño de las partículas.



**FIGURA 3.11. EFICIENCIA DE COLECCIÓN DEL CICLÓN.
FUENTE “DISEÑO ÓPTIMO DE CICLONES, CARLOS
ALBERTO ECHEVERRI LONDOÑO, 2006**

Como se puede ver en la figura, la eficiencia tiende asintóticamente a una eficiencia de colección muy próxima al 100% para partículas con un diámetro de 15 μm . Es decir, a partir de esta gráfica, se puede estimar que un ciclón tendrá eficiencias del 100% para partículas con un diámetro que supere los 15 μm .

El diámetro de los polvos cosméticos es estimado en 50 μm , por ende, se tendría una eficiencia del 100% en el diseño del ciclón, aproximadamente.

Sin embargo, adicionalmente existe una ecuación que permite obtener un diámetro crítico para la partícula, arriba del cual la eficiencia de colección se aproxima al 100%, según muestra en la figura 3.12, donde se puede observar que cuando el diámetro estimado de la partícula es 5 veces superior al diámetro crítico de partícula, la eficiencia de colección es del 100%.

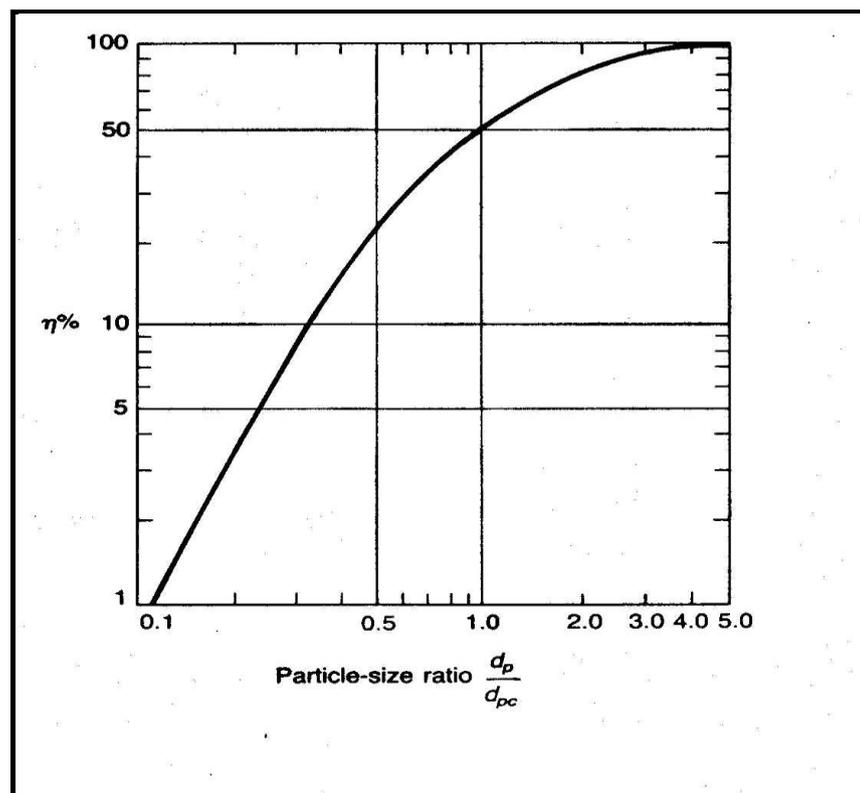


FIGURA 3.12 EFICIENCIA EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DE PARTÍCULAS. FUENTE, AIR POLLUTION, ITS ORIGIN AND CONTROL, WARK, WARNER, DAVIS.

El diámetro crítico de la partícula se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$d_{pc} = \sqrt{\frac{9\mu W}{2\pi N_e v_i \rho_p}} \quad (3.19)$$

en donde

μ es la viscosidad dinámica del gas que transporta el material, para este caso, el aire. A condiciones estándar de presión y temperatura, esto es 1 atm y 25°C, es $1.849 \times 10^{-5} \text{ kg/m sg}$

W es el ancho de la entrada al ciclón igual a 0.135m

v_i es la velocidad de la corriente de aire y material particulado al ciclón, la cual es 30 m/sg

ρ_p es la densidad de la partícula, la cual se determinó en 0.33 g/cm^3 .

N_e es el número de vueltas o giros que presenta la corriente gaseosa en el interior del ciclón y que está en función de las dimensiones del ciclón y es igual a

$$N_e = \frac{1}{H} \left(Lb + \frac{Lc}{2} \right)$$

$$N_e = \frac{1}{0.31\text{m}} (0.66\text{m} + 0.78\text{m}) = 4.645$$

Reemplazando los valores en la ecuación (3.19), se tiene:

$$d_{pc} = \sqrt{\frac{9(1.849 \times 10^{-5} \text{ kg/m sg})(0.135\text{m})}{2\pi(4.645)(30 \text{ m/sg})(330 \text{ kg/m}^3)}}$$

$$d_{pc} = 1.9 \times 10^{-5} \text{ m} = 19 \times 10^{-6} = 19 \mu\text{m}$$

La relación entre el tamaño estimado de la partícula y el diámetro crítico es:

$$\frac{d_p}{d_{pc}} = \frac{50 \mu\text{m}}{19 \mu\text{m}} = 2.63$$

Ingresando con este valor de relación de tamaño de partícula de la figura 3.12, se tiene una eficiencia de colección del 90% aproximadamente.

A partir de resultados experimentales mostrados en la figura 3.11 y del análisis de la relación del tamaño de los diámetros de la figura 3.12 se obtendrían eficiencias del 100 y 90%, respectivamente.

Sin embargo, considero que la eficiencia de colección sería del 100% debido al tamaño de las partículas del polvo cosmético, el cual es muy grande con respecto al tamaño de partículas que suelen trabajarse en ciclones.

Una vez diseñado el ciclón y estimado su eficiencia de colección, se determina la caída de presión que éste ejerce. Se había manifestado que una de las desventajas que presentan los ciclones son las altas caídas de presión que éstos producen. Si bien es cierto que las eficiencias de colección pueden aumentar al tener elevadas velocidades de ingreso, esto a la vez provoca altas caídas de presión y a mayor caída de presión aumentan los requerimientos en la potencia del ventilador y por lo tanto un mayor consumo energético.

Para calcular la caída de presión en un ciclón se recurre a la ecuación desarrollada por Shepherd y Lapple, la cual es mucha utilidad. Esta ecuación es:

$$\Delta P = \frac{1}{2}(\rho)(v_i)^2(H_v) \quad (3.20)$$

en la cual:

ΔP es la caída de presión en el ciclón, en Pa

ρ es la densidad del gas, en este caso el aire, en kg/m^3

v_i es la velocidad de entrada del gas en el ciclón, en m/sg .

$$H_v = k \frac{HW}{D_e^2}; K = 12 \text{ a } 18$$

Reemplazando:

$$H_v = 12 \frac{0.31m \times 0.135m}{(0.29m)^2}$$

$$H_v = 5.97$$

$$\Delta P = \left(\frac{1}{2}\right) (1.189 \text{ kg/m}^3) (30 \text{ m/sg})^2 (5.97)$$

$$\Delta P = 3194.25 \text{ Pa} = \rho_{\text{agua}} \times g \times h_{\text{m agua}}$$

$$h_{\text{m agua}} = \frac{3194.25 \text{ Pa}}{(1000 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/sg}^2)} = 0.326 \text{ m agua}$$

$$h_{\text{ciclón}} = 0.326 \text{ m agua} = 326 \text{ mmcda} = 12.83 \text{ pulg agua}$$

Es decir, el ciclón produce una caída de presión de 3194.25 Pa, equivalentes a 326 mmcda o 12.83 pulg agua.

Esta caída de presión considera las pérdidas de presión debido a la entrada y salida del ciclón, además de las pérdidas de energía cinética y las pérdidas por fricción.

La velocidad con la que el aire limpio sale del ciclón tomando en cuenta que el diámetro de salida del ciclón resultó ser 0.29m es

$$v_s = \frac{Q}{A} = \frac{1.25 \text{ m}^3/\text{sg}}{\frac{\pi(0.29\text{m})^2}{4}}$$

$$v_s = 18.92 \text{ m/sg}$$

Por lo tanto, la velocidad con la que sale el aire del ciclón es 18.92 m/sg.

Los resultados del diseño del ciclón se resumen en la siguiente tabla.

TABLA 14
DIMENSIONES DEL DISEÑO DEL CICLÓN.

Caudal Q (m^3/sg)	1.25
Velocidad de ingreso v_i (m/sg)	30
Altura de la entrada H (m)	0.31
Ancho de la entrada W (m)	0.135
Diámetro del ciclón D (m)	0.39
Longitud del cuerpo Lb (m)	0.66
Longitud del cono Lc (m)	0.78
Longitud total Lt (m)	1.44
Diámetro de salida del ciclón D_e (m)	0.29
Diámetro de salida de partículas D_d (m)	0.16
Velocidad de salida v_s (m)	18.92
Caída de presión ΔP ($mmcda/pulg\ agua$)	326/12.83

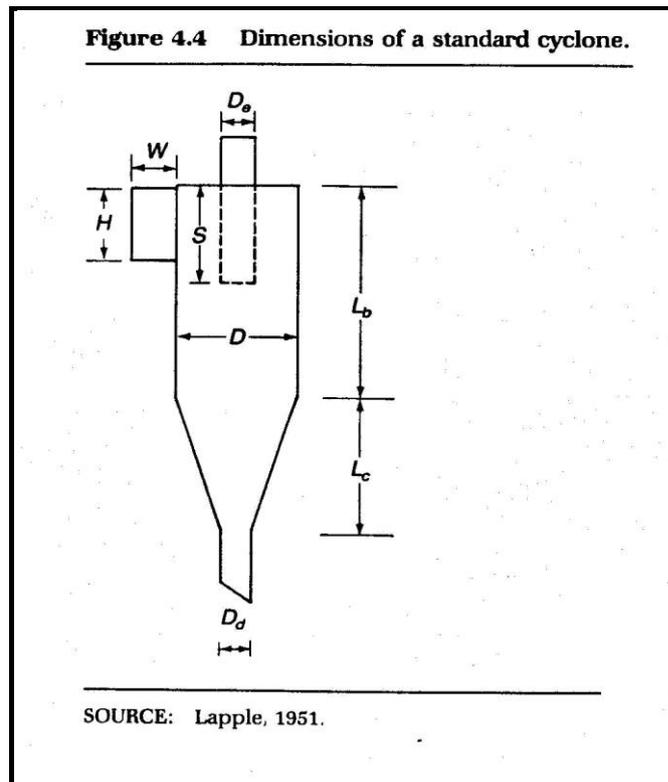


FIGURA 3.13 DIMENSIONES DEL CICLÓN. FUENTE, AIR POLLUTION CONTROL: A DESIGN APPROACH, COOPER AND ALLEY

Los resultados obtenidos en el diseño del ciclón son útiles para el cálculo de la caída de presión a través de los tramos rectos y accesorios de la red de ductos, debido a que la velocidad con la que el aire ingresa y sale del ciclón es un parámetro para estimar estas caídas de presión, así como el caudal de aire que circula por el sistema.

El objetivo de un sistema de ventilación localizada por extracción es lograr aspirar un caudal de aire que, como mínimo, sea igual al caudal de aspiración de diseño y que ha sido calculado mediante el dimensionamiento de la campana y, a partir de este caudal de aspiración y, junto a una velocidad de diseño o de transporte, se puede determinar el diámetro de los ductos y la caída de presión.

La velocidad de diseño o de transporte es aquella que permite que los polvos lleguen a los equipos de tratamiento y no se sedimenten en los conductos. A esta velocidad se la denomina velocidad mínima cuando se trata con polvos usando conductos circulares. La tabla 15 muestra los valores recomendados para las velocidades de diseño o transporte

TABLA 15
VELOCIDADES DE TRANSPORTE O DE DISEÑO

Naturaleza del contaminante	Ejemplo	Velocidad de diseño (m/sg)
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos	Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5 y 10 m/sg)
Humos de soldadura	Soldadura	10-12.5
Polvo muy fino y ligero	Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco	12.5-15
Polvos secos	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero	15-20
Polvo ordinario	Polvo de desbardado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvo de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulvurentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza.	17.5-20
Polvos pesados	Polvo se aseriado (pesado y húmedo), viruta metálica, polvo de desmoldeo en fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado de fundición, polvo de plomo	20-22.5
Polvo pesado húmedo	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo de corte de tubos de cemento, hilos de muela de pulir (pegajosos)	> 22.5

Considerando al polvo cosmético como un polvo ordinario y tomando una velocidad de diseño de 20 m/sg , el diámetro del ducto que sale de la campana es

$$Q = Av$$

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

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(1.25 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}})}{\pi(20 \frac{\text{m}}{\text{sg}})}}$$

$$D = 0.28\text{m}$$

El diámetro del ducto que sale de la campana es de 0.28m y la velocidad con la que la corriente de aire ingresa al ciclón es 20 m/sg . Se sale de la campana con 0.28m de diámetro y se ingresa al ciclón con una transición circular a rectangular con dimensiones de $0.135\text{m} \times 0.31\text{m}$.

Conociendo ya el caudal de diseño y la respectiva velocidad de transporte junto con los diámetros desde la campana al ciclón y desde el ciclón hasta el ventilador, se pueden

determinar las caídas de presión debido a los ductos en el sistema.

Las pérdidas de presión son las debidas a los tramos rectos h_1 , la debida a los accesorios h_2 y las pérdidas de entrada a la campana h_3 .

Utilizando las tablas del apéndice B las pérdidas de presión debido a los tramos rectos h_1 son:

Para el tramo de la campana-ciclón, h_{11} se tiene:

$$\begin{cases} Q = 1.25 \text{ m}^3/\text{sg} \\ v = 20 \text{ m}/\text{sg} \\ D = 0.28\text{m} \end{cases} \rightarrow h_{FL} = 1.6 \frac{\text{mmcda}}{\text{m}}$$

$$L = 0.1\text{m} + 1.26\text{m} + 0.8\text{m} + 0.2\text{m} = 2.36\text{m}$$

$$h_{11} = \left(1.6 \frac{\text{mmcda}}{\text{m}}\right)(2.36 \text{ m}) = 3.77 \text{ mmcda}$$

Para el tramo ciclón-ventilador, h_{12} se tiene:

$$\begin{cases} Q = 1.25 \text{ m}^3/\text{sg} \\ D = 0.29\text{m} \\ v = 18.92 \frac{\text{m}}{\text{sg}} \end{cases} \rightarrow h_{FL} = 1.4 \frac{\text{mmcda}}{\text{m}}$$

$$L = 1.74 \text{ m}$$

$$h_{12} = \left(1.4 \frac{\text{mmcda}}{\text{m}}\right)(1.85\text{m}) = 2.436 \text{ mmcda}$$

Para el tramo ventilador-descarga, h_{13} se tiene.

$$\begin{cases} Q = 1.25 \text{ m}^3/\text{sg} \\ D = 0.29\text{m} \\ v = 18.92 \text{ m}/\text{sg} \end{cases} \rightarrow h_{FL} = 1.4 \frac{\text{mmcda}}{\text{m}}$$

$$L = 0.87 \text{ m}$$

$$h_{13} = \left(1.4 \frac{\text{mmcda}}{\text{m}}\right) (0.87 \text{ m}) = 1.218 \text{ mmcda}$$

Por lo tanto, la caída de presión debida a los tramos rectos es:

$$h_{1T} = h_{11} + h_{12} + h_{13}$$

$$h_{1T} = (3.77 + 2.436 + 1.218)\text{mmcda} = 7.424\text{mmcda}$$

Las pérdidas de presión debido a los accesorios h_2 son:

Para el tramo campana-ciclón se tienen cuatro codos y una transición circular a rectangular. A partir de las tablas del apéndice B la caída de presión es:

$$\begin{cases} R = 0.20\text{m} \\ D = 0.28\text{m} \end{cases} \rightarrow C = 0.3847$$

$$h_{21} = 4C \left(\frac{v}{4000}\right)^2, \quad v \text{ en } \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

$$v = 20\text{m}/\text{sg} = 3937 \text{ pies}/\text{min}$$

$$h_{21} = 4(0.3847) \left(\frac{3937}{4000} \right)^2$$

$$h_{21} = 1.49 \text{ pulg agua} = 37.86 \text{ mmcda}$$

Para el tramo ciclón-ventilador se cuenta con un codo y a partir de las tablas del apéndice B y con una velocidad de 18.92 m/sg se tiene:

$$\begin{cases} R = 0.20m \\ D = 0.29m \end{cases} \rightarrow C = 0.42$$

$$h_{22} = C \left(\frac{v}{4000} \right)^2$$

$$v = 18.92 \text{ m/sg} = 3681.1 \text{ pies/min}$$

$$h_{22} = 0.42 \left(\frac{3724}{4000} \right)^2$$

$$h_{22} = 0.36 \text{ pulg agua} = 9.144 \text{ mmcda}$$

La caída de presión debido a los accesorios es:

$$h_{2T} = h_{21} + h_{22} = 37.86 \text{ mmcda} + 9.144 \text{ mmcda} = 47 \text{ mmcda}$$

Las pérdidas de presión debido a la entrada a la campana están dadas por la ecuación (3.1)

$$h_3 = (Kent + 1)h_D$$

donde h_D es la altura o cabezal dinámico correspondiente a la velocidad del aire en el conducto acoplado a la campana y *Kent* se obtiene a partir de la figuras y tablas del apéndice B

$$h_D = \left(\frac{v}{4.041} \right)^2 = \left(\frac{20}{4.041} \right)^2 = 24.47 \text{ mmcda}$$

$$h_3 = (0.25 + 1)(24.47 \text{ mmcda})$$

$$h_3 = 30.587 \text{ mmcda}$$

$$h_{3T} = h_3$$

Sumando las caídas de presión debido a los tramos rectos, accesorios y pérdidas de entrada a la campana, se obtiene la caída de presión total de los ductos.

$$h_T = h_{1T} + h_{2T} + h_{3T} = (7.424 + 47 + 30.587) \text{ mmcda}$$

$$h_T = 85 \text{ mmcda}$$

Las caídas de presión antes calculadas son en base a transporte de aire y se las puede aproximar para casos en que el aire viaja con otros gases y hasta con material particulado.

Finalmente, a la caída de presión de ductos, accesorios, campana, se le suma la caída de presión debida al ciclón.

La caída de presión en el ciclón se determinó en 326 *mmcda*. Con estos parámetros de caídas de presión junto con el caudal a transportar, se puede seleccionar el ventilador necesario para operar el sistema.

El tiempo y flujo másico del proceso de la captación de la corriente de aire con polvo se lo puede estimar a partir del caudal y del volumen de aire contenido en un metro de tubería con el respectivo diámetro de los ductos.

El flujo másico se lo obtiene mediante la concentración del contaminante en la zona de compactación y del caudal del aire. Este flujo másico se lo considera como la tasa de emisión del contaminante:

$$E = QC \quad (3.21)$$

donde

E es la tasa de emisión del polvo contaminante a partir de la fuente en *kg/sg*.

Q es el caudal de la mezcla aire polvo que es captado por la campana y que circula por los ductos.

C es la concentración del contaminante en *Kg* de contaminante por m^3 de aire. Para la aplicación de este

sistema, la concentración de este polvo contaminante se la asume como la cantidad de masa desperdiciada del polvo, 0.5 Kg , contenida en el volumen ocupado en la zona de compactación, es decir, la región limitada por la campana. Está zona corresponde al volumen de aire que se encuentra entre la campana y el suelo. Es decir, depende del largo, profundidad y altura de la campana con respecto al suelo, las cuales son $(2.2 \times 1.4 \times 1.8) \text{ m}$

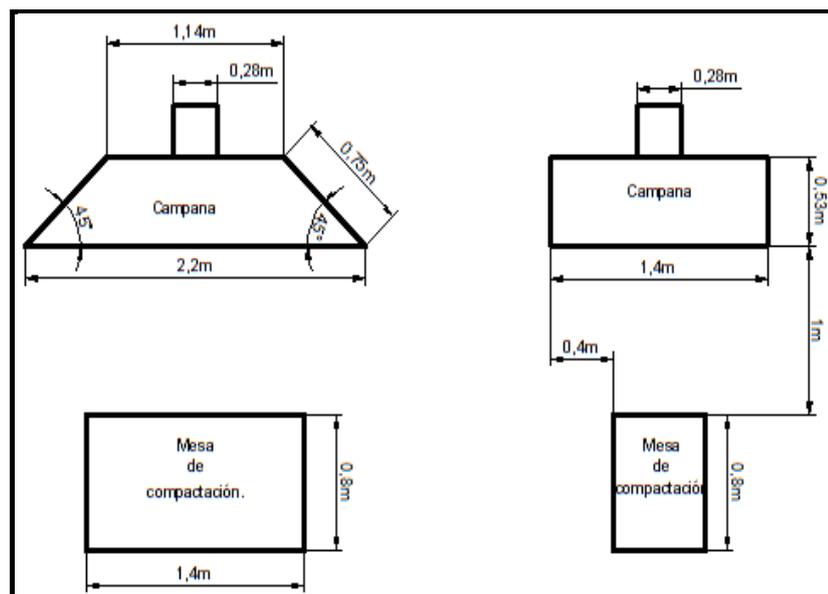


FIGURA 3.14 CAMPANA Y MESA DE COMPACTACIÓN.

Entonces la concentración se la estima en:

$$C = \frac{\text{kg contaminante desperdiciado}}{\text{Volumen zona de compactación}} = \frac{0.5 \text{ kg}}{5.5 \text{ m}^3}$$

$$C = 0.09 \text{ kg/m}^3$$

Por lo tanto, la tasa de emisión del contaminante es:

$$E = QC$$

$$E = (1.25 \text{ m}^3/\text{sg})(0.09 \text{ kg/m}^3)$$

$$E = 0.11 \text{ Kg/sg}$$

Esta emisión del contaminante se la toma el flujo másico. Por lo tanto

$$\dot{m} = E = 0.11 \text{ Kg/sg}$$

Entonces el tiempo estimado para el proceso de captación y recolección del polvo es :

$$t = \frac{m}{\dot{m}}$$

$$t = \frac{0.5 \text{ kg}}{0.11 \text{ kg/sg}}$$

$$t = 5 \text{ sg} = 0.001 \text{ h}$$

Un esquema del sistema de ventilación para la extracción del polvo cosmético se muestra en el apéndice F

3.2.5 Selección del Ventilador.

Para poder transportar el aire desde un punto A hasta un punto B a través de un sistema de ventilación se requiere de

un dispositivo que impulse el mismo, a la vez que pueda vencer las pérdidas de carga del sistema. Estos dispositivos son los ventiladores

Los ventiladores son muy usados para producir movimiento de aire en aplicaciones industriales. Su funcionamiento se basa en la entrega de energía mecánica por medio de un rotor que gira a altas revoluciones y que aumenta la energía cinética del fluido, que a su vez se transforma en presión estática.

Los ventiladores pueden ser axiales y centrífugos. Los ventiladores axiales son usados para aplicaciones que requieren mover grandes caudales generando una caída de presión despreciable, mientras que los ventiladores centrífugos son usados en aplicaciones con bajos caudales pero elevadas caídas de presión.

El diseño del sistema de ventilación para extraer el polvo cosmético desperdiciado requiere de un ventilador centrífugo debido a la pérdida de presión generada por los ductos y por el ciclón.

Para poder seleccionar el ventilador necesario para alguna aplicación específica se requiere conocer el caudal de aire a mover y la caída de presión del sistema. La selección de los ventiladores se puede efectuar mediante catálogos de fabricantes en los que mediante los datos de caudal y caída de presión se puede obtener la selección del ventilador. Los fabricantes pueden presentar datos de ventiladores ya sea en forma tabulada o en forma gráfica mediante curvas.

Además conociendo la caída de presión y el caudal de aire se puede determinar la potencia que entregará el ventilador al fluido.

La potencia que debe entregar el ventilador al aire para moverlo y vencer las pérdidas del sistema en función de altura de columna de agua es:

$$Pot_f = Q \Delta P_{TV} = Q \rho_{agua} g h_{TV} \quad \text{Wattios (W)} \quad (3.22)$$

en donde:

$Pot_f (W)$: potencia entregada por el ventilador al fluido

$Q (m^3/sg)$: es el caudal volumétrico del aire.

ΔP_{TV} (Pa): diferencia de presión total que entrega el ventilador

h_{TV} (m cda): altura de presión total que entrega el ventilador en metros de columna de agua

ρ_{agua} (kg/m³): densidad del agua

g (m/s²) : aceleración gravitacional.

Reemplazando el valor de la densidad del agua por 1000 kg/m³, la ecuación (3.22) se vuelve

$$Pot_f = Q h_{TV} g \quad (W)$$

en la que ahora h_{TV} se expresa en $mmcda$

Para poder determinar el cabezal total que entrega el ventilador se aplica la ecuación de Bernoulli entre las secciones de entrada y salida del ventilador y en donde el ventilador entrega energía mecánica a la corriente de aire, como se muestra en el esquema de la figura 3.15. En este esquema se observa que el aire llega al ventilador con una cierta energía y que éste le aporta un cabezal de presión que se ve reflejado en un aumento en la energía del aire luego de pasar por el ventilador.

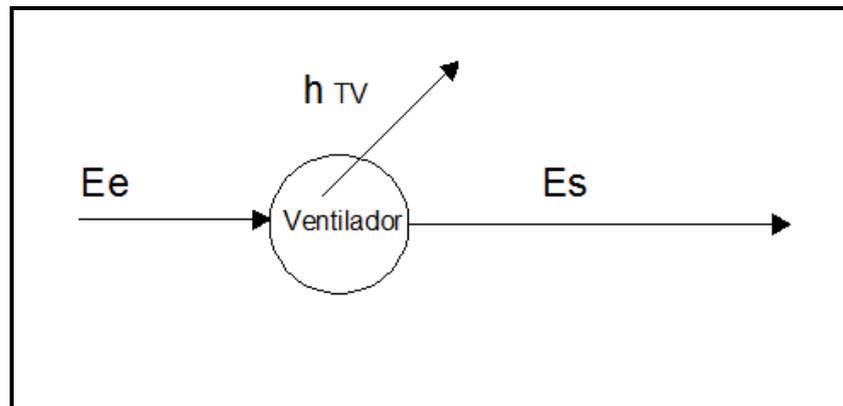


FIGURA 3.15 ENERGÍA ENTREGADA POR EL VENTILADOR.

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre la entrada y salida del ventilador:

$$h_{Ee} + h_{De} + h_{TV} = h_{Es} + h_{Ds} \quad (3.23)$$

$$h_{TV} = (h_{Es} + h_{Ds}) - (h_{Ee} + h_{De}) \quad (3.24)$$

$$h_{TV} = h_{TS} - h_{TE} \quad (3.25)$$

donde:

h_{Ee} : altura o cabezal de presión estático en la sección de entrada del ventilador.

h_{Es} : altura o cabezal de presión estático en la sección de salida del ventilador.

h_{De} : altura o cabezal de presión dinámico en la sección de entrada del ventilador correspondiente a la velocidad de entrada en esta sección.

h_{Ds} : altura o cabezal de presión dinámico en la sección de salida del ventilador correspondiente a la velocidad de salida en esta sección.

La altura o cabezal estático, con respecto a la presión atmosférica, en la sección de entrada del ventilador es negativo por tratarse de una depresión.

La altura o cabezal estático, con respecto a la presión atmosférica, en la sección de salida del ventilador es positivo por tratarse de una sobrepresión.

El valor de h_{Ee} se obtiene al sumar la caída de presión de los tramos rectos, de los accesorios, de las pérdidas de entrada y del ciclón y restarle la caída de presión debido a los tramos rectos en el tramo ventilador-descarga.

$$h_{Ee} = h_{1T} + h_{2T} + h_{3T} + h_{ciclón} - h_{13}$$

$$h_{Ee} = (7.424 + 47 + 30.857 + 326 - 1.218) \text{ mmcda}$$

$$h_{Ee} = 409.79 \text{ mmcda}$$

El valor de h_{De} se obtiene mediante la ecuación 3.13 . La velocidad con la que el aire ingresa en el ventilador es la velocidad con la que sale del ciclón. Entonces

$$h_{De} = \left(\frac{v_s}{4.043} \right)^2 = \left(\frac{18.92}{4.043} \right)^2$$

$$h_{De} = 21.9 \text{ mmcda}$$

El valor de h_{ES} corresponde a las caídas de presión en el tramo ventilador-descarga. En este tramo solo se tienen caídas de presión debido a los tramos rectos, y esta caída de presión era de

$$h_{ES} = h_{13} = 1.218 \text{ mmcda}$$

Por simplicidad, el diámetro de la sección de descarga del ventilador se lo toma igual al diámetro de la sección de entrada al ventilador, esto implica que la velocidad es la misma a la entrada y salida del ventilador y por lo tanto el cabezal dinámico también.

$$h_{Ds} = h_{De} = 21.9 \text{ mmcda}$$

Entonces el cabezal total que entrega el ventilador es:

$$h_{TV} = (h_{ES} + h_{DS}) - (h_{Ee} + h_{De})$$

$$h_{TV} = h_{ES} + h_{DS} - h_{Ee} - h_{De}$$

$$h_{TV} = (1.218 + 21.9 - (-409.79) - 21.9) \text{ mmcda}$$

$$h_{TV} = 411 \text{ mmcda}$$

Entonces la potencia mecánica que se debe suministrar al fluido es

$$Pot_f = Q h_{TV} g$$

$$Pot_f = (1.25 \text{ m}^3/\text{sg})(411 \text{ mmcda})(9.8 \text{ m}/\text{sg}^2)$$

$$Pot_f = 5034.75 \text{ W}$$

Teniendo un cabezal total h_{TV} de 411 mmcda, se puede determinar el cabezal estático del mismo. Esta es la altura de presión total que entrega el ventilador. Esta altura de presión total es igual a la altura de presión estática más la altura de presión dinámica correspondiente a la velocidad de salida del ventilador. Es decir:

$$h_{TV} = h_{EV} + h_{DV} \quad (3.26)$$

donde $h_{DV} = h_{Ds} = 21.9 \text{ mmcda}$ y por lo tanto se tiene que el cabezal de presión estática del ventilador es:

$$h_{EV} = h_{TV} - h_{Ds} = (411 - 21.9) \text{ mmcda}$$

$$h_{EV} = 389.1 \text{ mmcda}$$

Con el caudal de aire a mover y la caída de presión se tienen los datos para seleccionar el ventilador necesario para el sistema de ventilación.

La selección del ventilador se lo ha realizado mediante el catálogo del fabricante Ventiladores Calviño, mediante el cual la selección ha caído sobre el ventilador con modelo AP 30 F-8, el cual trabaja con una caída de presión de 400 mmcda y maneja un caudal de $77 \text{ m}^3/\text{min}$, con un consumo de potencia de 13.6 HP y girando a 2880 rpm y con acople directo al motor.

El sistema presenta una caída de presión de 390 mmcda y un caudal de $1.25 \text{ m}^3/\text{sg}$ equivalentes a $75 \text{ m}^3/\text{min}$, por lo que el ventilador seleccionado puede operar y cumplir su función óptimamente.

Las tablas de selección del ventilador de un fabricante se muestran a continuación y en el apéndice E.

CAPÍTULO 4

4. COSTOS.

Los costos a tomarse en cuenta para el presente diseño son aquellos correspondientes a los costos de inversión, energéticos, y un breve análisis entre el costo y el beneficio a obtener.

4.1 Costos de Inversión.

Los costos de inversión referidos en el diseño de sistemas de ventilación industrial generalmente están destinados a obtener un beneficio no económico, sino más bien con estos sistemas se pretende mejorar las condiciones ambientales y disminuir la contaminación en los recintos de trabajo.

Como costos de inversión están considerados todos aquellos costos estimativos que están relacionados con los materiales para ductos,

equipos como los ventiladores, el ciclón, filtro. Es decir, costos estimativos de materiales y equipos, así como también costos estimativos de la mano de obra, los cuales se obtuvieron mediante cotizaciones en talleres de la ciudad dedicados a la actividad de ductos de acondicionamiento de aire y ventilación.

Con respecto a los costos de los ductos, para sistemas de ventilación, éstos usualmente se construyen de chapa de acero galvanizado, material que es idóneo para aplicaciones que no superen los 200 °C de temperatura.

Para el diseño de ventilación por dilución de la sala de acetona, los costos de inversión son aquellos relacionados con los ductos, el filtro y los ventiladores para el sistema de impulsión, mientras que para el sistema de extracción los precios son los relacionados con los ductos y el ventilador. Los resultados se muestran en las tablas 16 Y 17

TABLA 16
ÁREA REQUERIDA PARA DUCTOS. SISTEMA DE
IMPULSIÓN.

Área requerida para ductos. Sistema de Impulsión				
TRAMO	Largo	Alto	Longitud	Área
	<i>pulg</i>	<i>pulg</i>	<i>m</i>	<i>m²</i>
A-D	7	12	12.4	11.96
D-E	6	12	2	1.83
E-F	4	12	2	1.63
Subtotal de área necesaria				15.42
Desperdicio 25%				3.86
Área total requerida				19.28

TABLA 17
ÁREA REQUERIDA PARA DUCTOS. SISTEMA DE
EXTRACCIÓN

Área requerida para ductos. Sistema de Extracción.				
TRAMO	Largo	Alto	Longitud	Área
	<i>pulg</i>	<i>pulg</i>	<i>m</i>	<i>m²</i>
M-J	7	12	10.4	10.04
J-I	6	12	2	1.83
I-H	5	12	2	1.72
H-G	3	12	2	1.52
Subtotal de área necesaria				15.11
Desperdicio 25%				3.78
Área total requerida				18.9

La tabla 16 indica que el área total requerida para el sistema de impulsión es 19.28 m^2 considerando un desperdicio de material del 25%. La tabla 17 indica que el área total requerida para el sistema

de extracción es 18.9 m^2 considerando un desperdicio de material del 25%.

Las planchas de acero galvanizado se las encuentra con las siguientes dimensiones:

TABLA 18
DIMENSIONES DE PLANCHA GALVANIZADA.

Dimensiones Plancha Galvanizada		
Largo	Alto	Área una plancha
m	m	m^2
2.40	1.20	2.88

El número de planchas requeridas para la impulsión de aire es:

$$\# \text{ planchas} = \frac{A \text{ total}}{A \text{ 1 plancha}} = \frac{19.28 \text{ m}^2}{2.88 \text{ m}^2} = 6.7$$

$$\# \text{ planchas requeridas} = 7$$

El número de planchas requerido para la extracción es:

$$\# \text{ planchas} = \frac{A \text{ total}}{A \text{ 1 plancha}} = \frac{18.9 \text{ m}^2}{2.88 \text{ m}^2} = 6.56$$

$$\# \text{ planchas requeridas} = 7$$

El precio de una plancha en el mercado, en el año 2013, está estimado en \$22.51. El costo total de las planchas es tanto para los ductos de impulsión como de extracción es:

$$\text{costo planchas} = (\# \text{ planchas})(\text{precio 1 plancha})$$

$$\text{costo planchas} = (7)(\$22.51) = \$157.57$$

El costo de las rejillas para inyección y extracción de aire están estimados en \$13.98 cada uno. El costo de las rejillas es \$97.86

El costo estimado de los ventiladores, que cumplan los requerimientos de los sistemas de suministro como de extracción son

El costo del filtro para el sistema de impulsión es

El costo total para el sistema de ventilación diluidora, impulsión y extracción de aire, se muestra en la tabla 19:

TABLA 19**COSTO TOTAL. SISTEMA DE VENTILACIÓN POR DILUCIÓN.**

Artículo	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio total \$
Ductos impulsión	1	157.57	157.57
Ductos extracción	1	157.57	157.57
Rejillas impulsión	3	13.98	41.94
Rejillas extracción	4	13.98	55.92
Filtro impulsión	1	30	30
Ventilador impulsión	1	380	380
Ventilador extracción	1	440	440
Mano de obra	1	200	200
Total \$			1463

Para el sistema de ventilación por extracción para recolección de polvo, estos costos son los relacionados con la campana, los ductos, el ciclón y el ventilador.

El costo de los ductos para el sistema de extracción para recolección de polvo se muestra en la tabla 20

TABLA 20**ÁREA DE MATERIAL PARA DUCTOS. SISTEMA DE EXTRACCIÓN PARA RECOLECCIÓN DE POLVO.**

Área requerida para ductos. Sistema de extracción para recolección de polvo.			
TRAMOS	Diámetro (m)	Longitud (m)	Área (m ²)
Campana-Ciclón	0.28	3.086	2.71
Ciclón-Ventilador	0.29	2.22	2.02
Ventilador-Descarga	0.29	0.87	0.8
Subtotal de área necesaria			5.53
Desperdicio 25%			1.38
Área total requerida			6.91

Al igual que los sistemas para ventilación diluidora, se considera un desperdicio de material del 25%.

El número de planchas requeridas es:

$$\# \text{ planchas} = \frac{A \text{ total}}{A \text{ 1 plancha}} = \frac{6.91 \text{ m}^2}{2.88 \text{ m}^2} = 2.4$$

$$\# \text{ planchas requeridas} = 3$$

El costo de las planchas para los ductos es:

$$\text{costo planchas} = (\# \text{ planchas})(\text{precio 1 plancha})$$

$$\text{costo planchas} = (3)(\$22.51) = \$67.53$$

El cálculo del material requerido para la campana se muestra en la tabla 21, considerando un desperdicio de material del 25%.

TABLA 21

ÁRREA DE MATERIAL PARA CAMPANA

Área requerida para la campana	Área m^2
Subtotal de área requerido	6.79
Desperdicio	25%
Total de área requerido	8.49

El número de planchas requeridas es:

$$\# \text{ planchas} = \frac{A \text{ total}}{A \text{ 1 plancha}} = \frac{8.49 \text{ m}^2}{2.88 \text{ m}^2} = 2.95$$

$$\# \text{ planchas requeridas} = 3$$

El costo de las planchas para la campana es:

$$\text{costo planchas} = (\# \text{ planchas})(\text{precio 1 plancha})$$

$$\text{costo planchas} = (3)(\$22.51) = \$67.53$$

Por lo tanto, el costo total el planchas tanto para los ductos como para la campana es \$135.06

La cotización del ciclón con las características del diseño está dada en \$400

El costo estimado del ventilador es \$ 1700

El costo total para el sistema de ventilación localizada o ventilación por extracción para recolección de polvo se muestra en la tabla 22.

TABLA 22.

**COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA
RECOLECCIÓN DE POLVO.**

Artículo	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Total
Ductos	1	67.53	67.53
Campana	1	67.53	67.53
Ciclón	1	400	400
Ventilador	1	1700	1700
Mano de Obra	1	400	400
Total \$			2635

El costo total de inversión en materiales y equipos para los sistemas de ventilación diluidora y ventilación localizada por extracción es:

$$\text{Costo Total} = \text{Costo Vent acetona} + \text{Costo Extracción de polvo}$$

$$\text{Costo Total} = \$ 1463 + \$2635$$

$$\text{Costo Total} = \$ 4098$$

4.2 Costo Energético.

El costo energético se refiere específicamente al consumo eléctrico. Este consumo está en función de la potencia consumida por los ventiladores y del precio del KWH de energía suministrada por la Empresa Eléctrica.

El costo energético mensual viene dado por:

$$CM = \text{Potencia absorbida Kw} \times \frac{\# h}{\text{día}} \times \frac{\# \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{\text{costo \$}}{\text{Kwh}}$$

donde:

CM es el costo energético mensual

Para el sistema de ventilación diluidora de la sala de acetona el costo energético está dado por la potencia consumida por los ventiladores de impulsión y de extracción del aire.

El costo energético mensual para el sistema de impulsión o suministro es:

$$CMSI = Potencia\ absorbida\ Kw \times \frac{\# h}{día} \times \frac{\# días}{mes} \times \frac{costo \$}{Kwh}$$

donde:

CMSI es el costo energético del sistema de impulsión de la sala de acetona.

Para el sistema de impulsión se tiene a partir del apéndice E que el ventilador requerido tiene como consumo de potencia 0.057 hp equivalentes a 0.043 Kw, para un caudal de 18.7 m³/min, los cuales cubren los requerimientos del caudal de dilución, y una caída de presión de 10 mmcda. Por lo tanto:

$$CMSI = 0.043 Kw \times \frac{8h}{día} \times \frac{30 días}{mes} \times \frac{\$ 0.08}{Kwh}$$

$$CMSI = \$0.82$$

El costo energético mensual para el sistema de extracción es:

$$CMSE = Potencia\ Kw \times \frac{\# h}{día} \times \frac{\# días}{mes} \times \frac{\$ 0.08}{Kwh}$$

donde:

CMSE es el costo energético del sistema de extracción de la sala de acetona.

Para el sistema de extracción, a partir del apéndice E se observa un consumo de potencia de 0.235 hp equivalentes a 0.17 Kw, para un caudal de 18.7 m³/min, los cuales cubren los requerimientos de caudal de dilución, y una caída de presión de 38 mmcda. Por lo tanto:

$$CMSE = 0.17 \text{ Kw} \times \frac{8h}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{\$ 0.08}{\text{Kwh}}$$

$$CMSE = \$3.26$$

Para el sistema de ventilación para recolección de polvo en la sala de compactación, el costo energético está dado por:

$$CMRP = \text{Potencia absorbida Kw} \times \frac{\# h}{\text{día}} \times \frac{\# \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{\$ 0.08}{\text{Kwh}}$$

Donde

CMRP es el costo energético mensual para el sistema de recolección de polvo. Este sistema no trabaja 8 horas al día. El tiempo que trabaja es aquel tiempo necesario para recolectar el polvo desperdiciado, es decir, cuánto tarda en recolectar los Kg de polvo en función del flujo másico del polvo que ingresa por el ciclón. En el capítulo 3 se había determinado que el flujo másico o tasa de emisión circulando por el sistema era de 0.11 kg/sg y la cantidad de

masa desperdiciada por jornada de trabajo es en promedio $0.5Kg$.

Por lo tanto:

$$t = \frac{m}{\dot{m}}$$

$$t = \frac{0.5 \text{ kg}}{0.11 \text{ kg/sg}}$$

$$t = 5 \text{ sg} = 0.001h$$

Es decir, el tiempo que se tardaría en recolectar el polvo es muy corto. Sin embargo, se puede estimar un tiempo de operación de 15 min para tener un factor de seguridad tomando en cuenta de forma sobreestimada los tiempos de arranque y apagado del sistema.

Por lo tanto se tiene que el costo energético mensual del sistema de recolección de polvo es:

$$CMRP = 11.2 \text{ Kw} \times \frac{0.25 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{12 \text{ días}}{\text{mes}} \times \frac{\$ 0.08}{\text{Kwh}}$$

$$CMRP = \$ 2.7$$

El costo energético total está estimado en \$6.78 mensuales, considerando la ventilación por dilución en la sala de acetona y la ventilación por extracción en la sala de compactación.

4.3 Análisis Costo-Beneficio.

El costo contra el beneficio es de importancia al momento de poder determinar la validez de un proyecto.

El costo total estimado del proyecto se aproxima a los \$5330, considerando una utilidad del 30%.

Con respecto al sistema de recolección de polvo, este tiene un costo total aproximado de \$3400, ya incluyendo la utilidad propia de un proyecto. El desperdicio de polvo por jornada de trabajo es de 0.5 Kg aproximadamente y laborando en promedio tres días por semana en la compactación, se tiene un desperdicio mensual de 6Kg aproximadamente y el costo del Kg de polvo para la empresa está en \$20. Por lo tanto, la pérdida de material se evalúa en \$1440 anuales, aproximadamente.

Relacionando el costo del sistema de extracción con el ahorro del material, se puede estimar que la inversión se vería reflejada en un tiempo de 2.5 años, aproximadamente. Además, el sistema de extracción de polvo tiene como finalidad disminuir la contaminación

de la sala de compactación, lo que se ve reflejado en un mejor ambiente ya que el polvo ya no se encontraría esparcido ni acumulado en el equipo de acondicionamiento de aire de dicha sala.

Con respecto a la sala de acetona o quita esmalte, el beneficio que se obtiene es netamente referente a la calidad del aire de esta zona de trabajo. Este beneficio no se ve reflejado en el aspecto monetario, sin embargo, contar con una zona que en la que el aire no esté cargado de contaminantes ni olores molestos brinda condiciones seguras y saludables para las actividades que deben cumplir los trabajadores.

Adicionalmente es importante tomar en cuenta el bajo consumo energético que demandarían estos sistemas.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones

Las conclusiones obtenidas en el presenta trabajo son las siguientes:

1. Durante el proceso de elaboración de productos cosméticos el aire se carga de contaminantes producto de la evaporación de sustancias. En la sala de envasado del quita esmalte se evaporan $0.00078 L/h$ de Acetato de Etilo y $0.00068L/h$ de Alcohol Etilico.
2. El caudal de aire de dilución es directamente proporcional a la tasa de generación del contaminante e inversamente proporcional a su valor TLV.
3. Aquellas zonas en las que se realizan trabajos o procesos industriales y que están climatizadas con sistemas o equipos de acondicionamiento de aire que no utilizan aire de renovación del exterior, sino únicamente recirculación de aire, pueden ofrecer un

aire cargado de olores y contaminantes molestos producto de las actividades allí realizadas. Estos olores se vuelven prácticamente imperceptibles para los trabajadores a medida que el tiempo de exposición a los mismos aumenta

4. La caída de presión debido a los tramos rectos es relativamente baja, 7.424 mmcda , con respecto de los accesorios y equipos en el sistema de ventilación por extracción del polvo, los cuales tuvieron caídas de presión de 47 mmcda y 326 mmcda , respectivamente.
5. Los ciclones son equipos de colección de partículas con un bajo costo inicial y requieren de poco mantenimiento. La caída de presión de los ciclones está en función de la velocidad de ingreso, así como también de las dimensiones de la entrada del ciclón.

Recomendaciones.

1. Se recomienda que los ambientes de trabajo deben contar con la ventilación y renovación de aire necesarias para garantizar buenas condiciones de trabajo.
2. Se recomienda que se exija a los trabajadores utilizar en todo momento los equipos de protección personal durante la jornada laboral.
3. Pese a que para los sistemas de ventilación presentados el mantenimiento es mínimo, se recomienda un cambio periódico del

filtro en el sistema de ventilación por impulsión de aire de la sala de acetona.

4. Para la sala de la acetona, se recomienda que en todo momento se mantengan operando simultáneamente los sistemas de impulsión y extracción de aire, de tal manera que se pueda contar con una renovación constante del aire en esta sala.
5. La compactación del polvo cosmético debe realizársela con el aislamiento recomendado para evitar que el material desperdiciado se esparza por toda la sala, contaminando el ambiente de la misma e incluso llegando a ensuciar y cargar de polvo al equipo de acondicionamiento de aire.
6. Se recomienda que los trabajadores roten en sus puntos de trabajo de tal forma que no estén expuestos jornadas enteras a un contaminante.
7. Los procesos de elaboración de los diferentes productos deberían apuntar a que éstos no sean tan manuales, en el caso de las mezclas de sustancias, de esta forma se limita la exposición a los contaminantes.
8. Se recomienda la renovación del aire en diversas zonas de trabajo de la planta, con el propósito de mitigar olores y contaminantes molestos.

BIBLIOGRAFÍA.

- Cengel Yunus, Cimbala John, Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones. Mc Graw Hill, Primera Edición, 2006.
- Van Der Haar, Higiene Ocupacional en América Latina. Una Guía para su Desarrollo, 2001.
- Goberna Ricardo, Ventilación Industrial. Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales, 1992.
- Ing. Andrade Francisco, Curso de Ventilación Industrial. Ing. Mecánica, Fimcp Espol, 2011.
- Ministerio de Salud y Consumo, Gobierno de España. Real Decreto sobre Productos Cosméticos, 1599/1997 .
- Escoda Salvador, Manual Práctico de Ventilación Industrial, Segunda Edición

- Sociedad Asturiana de Medicina y Seguridad en el Trabajo y Fundación Médico de Asturias. Manual Básico de Prevención de Riesgos Laborales: Higiene Industrial, Seguridad y Ergonomía.
- Soler & Palau, Ventilation Group, Manual Práctico de Ventilación.
- Pita Edward G, Acondicionamiento de Aire. Principios y Sistemas. Segunda Edición, Compañía Editorial Continental, 2004.
- Patente de Invención. Registro de Propiedad Intelectual de España. Procedimiento para la Compactación de un Polvo y Cazoleta Utilizada en este Procedimiento.
- Cooper and Alley, Air Pollution Control: A Design Approach.
- Wark, Warner, Day ,Air Pollution, Its Origin And Control