

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE AIRE EN EL INTERIOR DE LA PLANTA DE RENOVALLANTA SUPERIOR**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**LUIS MAURICIO CÓRDOVA OCHOA**

**DIRECTOR: ING. ANDRÉS PROAÑO  
CODIRECTOR: ING. EMILIO TUMIPAMBA**

**Sangolquí, marzo del 2005**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

**EL PROYECTO “ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE AIRE EN EL INTERIOR DE LA PLANTA DE RENOVALLANTA SUPERIOR” FUE REVISADO EN SU TOTALIDAD POR LOS SEÑORES INGENIEROS ANDRÉS PROAÑO Y EMILIO TUMIPAMBA COMO REQUERIMIENTO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.**

---

**ING. ANDRÉS PROAÑO  
DIRECTOR**

---

**ING. EMILIO TUMIPAMBA  
CODIRECTOR**

**SANGOLQUÍ, marzo del 2005**

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**“ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE AIRE  
EN EL INTERIOR DE LA PLANTA DE RENOVALLANTA  
SUPERIOR”**

**ELABORADO POR:**

---

**LUIS MAURICIO CÓRDOVA OCHOA  
EJECUTOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

---

**MAYOR ING. HUGO RUIZ  
DECANO**

**SANGOLQUÍ, marzo del 2005**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo y esfuerzo que representó la realización del mismo se lo ofrezco y dedico a Dios, por que me ha dado la vida para llegar a concluirlo y me ha iluminado el camino por el cual recorrí hasta llegar al final.

A mis padres, Luis y Elizabeth por su ejemplo y dedicación al hogar son los que se merecen lo que representa este proyecto de graduación.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por su comprensión y apoyo durante toda mi vida y ante todas las circunstancias que me ha tocado vivir.

A mis hermanos y cuñados por su respaldo incondicional.

A los Ingenieros Andrés Proaño y Emilio Tumipamba por su colaboración en la realización este trabajo.

A RENOVALLANTA en la persona del Ing. Fausto Aguilera por su apoyo para la realización de esta tesis.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Certificación de la elaboración del proyecto	ii
Legalización del proyecto	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Indice de contenidos	vi
Listado de tablas	ix
Listado de figuras	x
Listado de fotografías	xii
Listado de graficas	xii
Nomenclatura	xiii
Listado de anexos	xv

## CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1	Antecedentes	1
1.2	Definición del Problema	3
1.3	Objetivo General	5
1.4	Objetivos Específicos	5
1.5	Alcance del Proyecto	6

## CAPITULO II. ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE LA PLANTA

2.1	Descripción del proceso de producción en la reencauchadora	7
2.2	Equipamiento y Maquinarias	11
2.2.1	Evaluación de los sistemas de ventilación existentes	12
2.3	Diagrama del proceso	15
2.4	Dimensiones de los puestos de trabajo	15
2.5	Número de trabajadores	16
2.6	Cálculo de infiltración de aire por ventilación natural	16

2.7	Análisis de la inspección ambiental de calidad de aire en interiores	17
2.7.1	Concentraciones y límites permitidos de los contaminantes presentes	18
2.7.2	Análisis de partículas sólidas suspendidas.	20
2.7.2.1	Partículas totales suspendidas PM10	20
2.7.2.2	Partículas totales suspendidas PM2.5	21
2.7.2.3	Características del contaminante	21
2.7.2.4	Fuentes principales	22
2.7.2.5	Efectos principales	22
2.7.2.6	Concentraciones presentes y límites permitidos	23

### **CAPITULO III. SISTEMAS DE VENTILACIÓN PARA LA EVACUACIÓN Y ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES A UTILIZARSE**

3.1	Maneras de ventilar	25
3.1.1	Extracción del aire viciado del local	25
3.1.2	Impulsión de aire nuevo	26
3.1.3	Extracción–Impulsión en la misma instalación	26
3.2	Sistemas de ventilación general	27
3.2.1	Ventilación por Dilución de Contaminantes	29
3.2.1.1	Introducción	29
3.2.1.3	Características de los contaminantes	30
3.2.1.4	Layout del sistema de ventilación por dilución para la planta	34
3.2.1.5	Factores que afectan al diseño en ventilación por dilución	35
3.2.1.6	Cálculos preliminares	36
3.3	Sistemas de ventilación local para las áreas de Raspado y Preparación	41
3.3.1	Introducción	41
3.3.2	Características de los contaminantes	42
3.3.3	Layout del sistema de extracción para cada área	43
3.3.3.1	Raspado	43
3.3.3.2	Preparación	43
3.3.4	Consideraciones para el diseño	44

## **CAPITULO IV. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN**

4.1	Sistema de Ventilación por Dilución de Gases Contaminantes	51
4.1.1	Parámetros de diseño	51
4.1.2	Diseño de ductos y Chimeneas de descarga	54
4.1.2.1	Cálculo de pérdidas en Ductos	56
4.1.2.2	Cálculo de pérdidas en Chimeneas	57
4.1.3	Cálculo y selección de ventiladores para Extracción e Impulsión	59
4.2	Sistemas de extracción local	64
4.2.1	Parámetros de diseño	64
4.2.2	Selección y diseño de campanas	65
4.2.3	Diseño de ductos	68
4.2.3.1	Cálculo de pérdidas en Ductos	70
4.2.4	Cálculo y selección de separador de polvillo	75
4.2.5	Cálculo y selección de ventiladores	78

## **CAPITULO V. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO**

5.1	Análisis Económico y social	81
5.1.1	Identificación y cuantificación de los costos del proyecto	88
5.1.1.1	Sistema de ventilación por dilución de gases contaminantes	88
5.1.1.2	Sistema de extracción local	89
5.1.2	Beneficios	90
5.2	Análisis Financiero	93
5.2.1	TIR, VAN, relación Beneficio-Costo	93

## **CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1.	Conclusiones	95
6.2.	Recomendaciones	98

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS



## LISTADO DE TABLAS

CONTENIDO	Pág.
Tabla 1.1 Contaminantes presentes en cada área productiva de la planta de RENOVALLANTA y sus efectos sobre la salud	2
Tabla 2.1 Descripción de las máquinas responsables de la contaminación en el interior de la planta de Renovallanta	11
Tabla 2.2 Dimensiones de los puestos de trabajo	15
Tabla 2.3 Cantidad de trabajadores en cada proceso	16
Tabla 2.4 Infiltración por ventanas	17
Tabla 2.5 Datos promedios de los parámetros monitoreados en aire ambiente	19
Tabla 2.6 Límites permisibles para concentración de contaminantes comunes en el aire ambiente	19
Tabla 2.7 Fuente de emanación de partículas PM10 y PM 2.5	22
Tabla 2.8 Concentración de material particulado	23
Tabla 3.1 Guía de Referencia para la Ventilación por Dilución	30
Tabla 3.2 Clasificación de materiales de acuerdo a la tasa de evaporación	31
Tabla 3.3: Niveles de Toxicidad del Dióxido de azufre	33
Tabla 3.4 Rango para velocidades de captación (solo como recomendación)	44
Tabla 3.5 Tipos de filtros de acuerdo al diámetro de partículas (mm)	49
Tabla 4.1 Parámetros de diseño para la zona de encementado y vulcanización.	51
Tabla 4.2 Parámetros de diseño de tuberías	52
Tabla 4.3 Parámetros de diseño para la zona de preparación y raspado.	64
Tabla 4.4 Resultados del cálculo de Diámetros y velocidades en los tramos para las zonas de preparación y raspado.	69
Tabla 4.5 Cálculo de la presión estática en el sistema de ventilación del área de preparación y raspado	74
Tabla 5.1 Valor ponderado del grado de severidad de las consecuencias	83
Tabla 5.2 Valor ponderado de la frecuencia de exposición	84
Tabla 5.3 Valor ponderado de la probabilidad que concrete el riesgo	84
Tabla 5.4 Valor ponderado del factor de costo	85
Tabla 5.5 Valor ponderado del grado de corrección	86

Tabla 5.6 Presupuesto sistema de ventilación por dilución	88
Tabla 5.7 Presupuesto sistema de ventilación localizado	89

## LISTADO DE FIGURAS

CONTENIDO	Pág.
Figura 1.1. Diagrama Causa efecto del problema de calidad de aire en la planta	4
Figura 2.1 Sistema de extracción actual en la zona de raspado	12
Figura 2.2 Esquema del sistema de extracción actual del área de preparación	13
Figura 2.3 Esquema del sistema de ventilación actual en la zona de encementado	14
Figura 2.4 Diagrama del proceso de producción de Renovallanta	15
Figura 3.1 Ventilación por Depresión	25
Figura 3.2 Ventilación por sobre presión	26
Figura 3.3 Ventilación en equilibrio de presión	27
Figura 3.4 Recomendaciones a tomar en consideración para la disposición de los ventiladores y extractores	28
Figura 3.5 Layout del sistema de ventilación por dilución	33
Figura 3.6 Layout del sistema de ventilación para la zona de raspado	43
Figura 3.7 Layout del sistema de ventilación para la zona de preparación	43
Figura 3.8. Ejemplo evacuación de gases nocivos	46
Figura 3.9. Diseño campanas tipo caperuza	46
Figura 3.10 Principios del diseño de conductos	47
Figura 3.11. Curva característica de un ventilador	50
Figura 4.1 Diseño del sistema de ventilación para la cabina de encementado	52

Figura 4.2 Ficha técnica del ventilador BSQ 240HP	60
Figura 4.3 Curva de desempeño del ventilador BSQ 240HP	60
Figura 4.4 Ficha técnica del ventilador SE 1-18-429-A.	61
Figura 4.5 Curva de desempeño del ventilador SE 1-18-429-A	62
Figura 4.6 Ficha técnica del ventilador RSFP-180.	62
Figura 4.7 Curva de desempeño del ventilador RSFP-180.	63
Figura 4.8 Isométrico de la distribución de tubería para las áreas de Preparación Y Raspado	64
Figura 4.9 Disposición de la campana de captura en el área de preparación	65
Figura 4.10 Campana tipo rendija rebordeada	67
Figura 4.11 Parámetros que se involucran en una unión o intersección de Tuberías	72
Figura 4.12 Dimensiones recomendadas para diseño de ciclón tipo 1D-2D	76
Figura 4.13 Ficha técnica del ventilador 26-IPW	78
Figura 4.14 Curva de desempeño del ventilador 26-IPW	78

## LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

CONTENIDO	Pág.
Foto 2.1 Proceso de inspección inicial	7
Foto 2.2 Proceso de raspado	7
Foto 2.3 Proceso de preparación	8
Foto 2.4 Proceso de encementado	8
Foto 2.5 Proceso de relleno	9
Foto 2.6 Proceso de embandado	9
Foto 2.7 Proceso de vulcanización	10

## LISTADO DE GRÁFICAS

CONTENIDO	Pág.
Gráfica 3.1 Concentración del contaminante (ppm) vs. Tiempo (min).	39
Gráfica 3.2 Concentración del contaminante vs. tiempo, una vez terminado el proceso	39

## NOMENCLATURA

ACGIH= American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de la industria gubernamental de profesionales de la higiene)

$A_o$  = Área de entrada del aire ( $\text{ft}^2$ )

$A_{ab}$  = Área del ducto en el tramo a-b ( $\text{ft}^2$ )

$A_{slot}$  = Máxima área del Slot ( $\text{ft}^2$ )

cfm = cubic feet per minute (pies cúbicos por minuto)

$C_f$  = Concentración del contaminante al final de la prueba (norma) (ppm)

$C_o$  = Concentración del contaminante al comienzo de la prueba, (ppm)

$C_t$  = Concentración del contaminante en un lapso de tiempo (ppm)

$C_{tf}$  = Concentración después de un tiempo en que ha cesado el proceso (ppm)

$D$  = Diámetro del ducto (in)

$D_{ab}$  = Diámetro del ducto en el tramo a-b (in)

$F$  = Factor de conversión de unidades para el líquido utilizado en un intervalo de tiempo.

fpm = Feet per minute (pies por minuto)

FSP = Presión estática en el ventilador (in H<sub>2</sub>O)

$G$  = Rata de generación de vapor ( $\text{ft}^3/\text{min}$ )

$h_e$  = Pérdida en la entrada de la campana (in H<sub>2</sub>O)

$H_f$  = Factor de pérdida por fricción (VPd/ft)

$K$  = Factor de seguridad, depende de la efectividad del sistema y la uniformidad de la evolución del contaminante.

$L$  = Concentración deseada del contaminante en el área de trabajo (ppm)

LC = Coeficiente de pérdida en los codos (VPd)

LC<sub>int</sub> = Coeficiente de pérdida en la intersección (VPd)

$L_d$  = Pérdida por fricción en el ducto (in H<sub>2</sub>O)

$L_c$  = Pérdida por fricción en la chimenea (in H<sub>2</sub>O)

LT = Longitud total del ducto (ft)

L<sub>tc</sub> = Longitud de la chimenea (ft)

$M$  = Peso molecular del contaminante

$N_{\text{codo}}$  = Número de codos

NIOSH = National Institute of Occupational Safety and Health (Instituto Nacional de la Seguridad y Salud ocupacional)

OSHA = Occupational Safety and Health Administration (Administración de la seguridad y salud ocupacional)

Q = Flujo de aire por dilución (ft<sup>3</sup>/min)

Q<sub>adj</sub> = Flujo de aire ajustado o corregido (ft<sup>3</sup>/min)

Q' = Flujo de aire efectivo (ft<sup>3</sup>/min)

Q<sub>im</sub> = Flujo de aire de impulsión (ft<sup>3</sup>/min)

Q<sub>dis</sub> = Flujo de aire de diseño (ft<sup>3</sup>/min)

rpm = Revoluciones por minuto

spgr = Gravedad específica del líquido

S<sub>Ph</sub> = Presión estática en la campana (in H<sub>2</sub>O)

S<sub>Pin</sub> = Presión estática en la entrada (in H<sub>2</sub>O)

S<sub>Pout</sub> = Pérdidas en la chimenea (in H<sub>2</sub>O)

t = Tiempo (minutos)

TLV = Threshold Limit Value (Valor límite umbral de concentración de contaminantes).

TWA = Time Weighted Average (Tiempo de exposición promedio que se puede soportar una concentración de contaminantes)

μm = Micrómetros (10<sup>-6</sup> metros)

V<sub>cap</sub> = Velocidad de captación (ft/min)

V<sub>d</sub> = Velocidad en el ducto (ft/min)

V<sub>Pc</sub> = Presión dinámica en la chimenea (in H<sub>2</sub>O)

V<sub>Pd</sub> = Presión dinámica en el ducto (in H<sub>2</sub>O)

V<sub>Pslot</sub> = Presión dinámica del Slot (in H<sub>2</sub>O )

V<sub>Pr</sub> = Presión dinámica resultante (in H<sub>2</sub>O )

V<sub>r</sub> = Volumen del cuarto (ft<sup>3</sup>)

V<sub>slot</sub> = Velocidad del Slot (ft/min)

W = Cantidad de líquido usado en un intervalo de tiempo (gal/h)

X = Distancia desde la fuente de contaminación hasta la campana (ft)

# ANEXOS

## CONTENIDO

Anexo 1 Informe Técnico de la Calidad de Aire Ambiental en la Planta de Renovallanta.

Anexo 2 Material Safety Data Sheet of Rubber Solvent  
Hoja de Información de Seguridad del Solvente para Caucho.

Anexo 3 Factor K, distribución del aire en el local.

Anexo 4 Factor F, factor de conversión de unidades de consumo de liquido por unidad de tiempo.

Anexo 5 Tipos de campanas y calculo del caudal que manejan.

Anexo 6 Coeficiente de perdidas en los codos.

Anexo 7 Coeficiente de perdidas en intersecciones.

Anexo 8 Hojas técnicas de los filtros Flanders.

Anexo 9 Hojas técnicas de los ventiladores seleccionados.

## CAPÍTULO 1

### GENERALIDADES

RENOVALLANTA SUPERIOR es una empresa dedicada al reencauche en frío de neumáticos para camión y camioneta desde su inicio ha trabajado sin prevención de los problemas que en la salud de los trabajadores causan los focos contaminantes, solamente existe control en el área de raspadora y preparación pero no satisface la demanda de descarga ya que en el ciclón existen fugas de polvillo al aire exterior lo que indica una falla en el sistema o que esta mal diseñado, además la extracción no es del todo buena ya que en el lugar de trabajo se asienta una gran cantidad de caucho raspado y en las áreas de encementado y vulcanización, no poseen ningún sistema de ventilación y esto ha provocado que la calidad de aire en la zona de producción sea muy preocupante, teniendo en cuenta los riesgos a los que exponen a sus trabajadores.

.

El problema que se encuentra vigente en la planta y es el motivo del presente estudio es el bajo índice de Calidad de Aire en la zona de producción que es engendrado por una serie de causas entre las cuales se tienen las siguientes:

- Suministro inadecuado de aire y/o pobre mantenimiento del sistema de ventilación
- Contaminantes de procesos de producción que ocurren dentro de la planta incluyendo productos de limpieza, pesticidas, gases de combustión y emanaciones gaseosas propias de los procesos.
- Polución biológica del aire, tal como polen, pequeños insectos y microorganismos (bacterias, hongos, levaduras y algas).
- Contaminantes traídos al edificio desde el exterior.

Por lo tanto el objetivo principal es el de realizar un estudio para el mejoramiento de la calidad de aire en el interior de la planta de RENOVALLANTA SUPERIOR, mediante la caracterización los diferentes agentes contaminantes en la planta, estableciendo los niveles permisibles de los contaminantes existentes y con las técnicas de ventilación apropiadas diseñar los sistemas de ventilación y terminar con el estudio el costo de la implementación.



## CAPÍTULO 2

### ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE LA PLANTA

Conociendo el proceso de producción de la planta, la maquinaria y sistemas de extracción y control de contaminantes existentes, se puede obtener una visión clara de los lugares en donde se va a actuar, además es necesario conocer parámetros como áreas de los lugares de trabajo, el número de trabajadores, y el caudal de infiltración de aire por ventilación natural que posee la planta, con lo que luego se puede ahorrar en caudal de infiltración.

Se encontró que los sistemas de ventilación existentes no son los más adecuados para controlar la contaminación emanada en los procesos, existen claras fallas en la ubicación de campanas y demás elementos de extracción, por otro lado se puede observar en el Informe técnico del monitoreo de la calidad de aire en la planta, el índice muestra que la calidad del aire está muy afectada y como consecuencia se deberá analizar los diferentes sistemas de extracción que ayudarán a cambiar estas condiciones en las que se desenvuelven los trabajadores en la fábrica a continuación los valores promedio de la inspección.

#### Datos promedios de los parámetros monitoreados en aire ambiente

PARÁMETRO	PROMEDIO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	VALOR LÍMITE
Monóxido de Carbono	0.2 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	10 $\text{mg}/\text{m}^3$
Dióxido de Nitrógeno	18	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dióxido de Azufre	2664	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material Particulado PM10	6154	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Los valores de concentración de contaminantes son excesivamente elevados con relación al valor norma como límite permitido, a la exposición de este tipo de contaminante, lo cual vuelve demasiado peligroso el trabajo y esfuerzo en los lugares de trabajo, e indica además que sus sistemas de ventilación están mal diseñados, tienen problemas de mantenimiento o no existen.

Para calcular cuanto vapor del solvente se forma cada minuto, primero se determina cuanto solvente se consume y los elementos químicos que conforman el solvente, que gracias a la información de seguridad del material o M S D S por sus siglas en inglés, del solvente para caucho, se puede conocer la información sobre límites permisibles, las características y los posibles daños y precauciones que se debe tener con el manejo del mismo.

### **CAPÍTULO 3**

#### **SISTEMAS DE VENTILACIÓN PARA LA EVACUACIÓN Y ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES A UTILIZARSE**

La ventilación general o también conocida como ventilación ambiental, es decir la sustitución de una porción de aire que se considera indeseable por otra que pretenderá mantener el aire del interior del recinto en un grado de contaminación adecuado y además brinda información necesaria para poder elegir con que método trabajar de acuerdo a las condiciones de la planta, en especial las condiciones físicas del local en el cual se va a instalar los equipos.

La razón de ventilar los habitáculos humanos es el de proporcionar un ambiente higiénico y confortable a los ocupantes ya que se estima que pasan encerrados en locales un noventa por ciento de su tiempo. Hay que diluir el olor corporal, controlar la humedad, el calor, el humo y la polución de las actividades industriales.

La dilución es mas común utilizarla beneficiosamente para el control de vapores de líquidos orgánicos así como también los solventes con baja toxicidad. Para la aplicación correcta es necesario obtener los datos acerca de la cantidad de vapor generada por la fuente de contaminación, que usualmente es obtenida de la planta, cuando llevan un adecuado control de consumos.

El solvente para caucho es peligroso y fácilmente se evapora a temperatura y presión atmosférica normales, por lo que es de mucha ayuda y además conocer el dato sobre la cantidad de VOC que emite, lo cual es el mayor riesgo al que se exponen los obreros, pero lo mas importante es conocer el TLV y TWA lo cual

ayudara al diseño gracias a que toda esta información es útil para el cálculo del caudal necesario para controlar la atmósfera de trabajo.

Las ecuaciones matemáticas para el cálculo del flujo de aire necesario para diluir, esta basado en el concepto de que el contaminante es generado con un cierto caudal ( $\text{ft}^3/\text{min}$ ), y así también el sistema de ventilación debe mover el correcto flujo de aire ( $\text{ft}^3/\text{min}$ ), para diluir esta generación de contaminante a un nivel aceptable. Las ecuaciones teóricas asumen que en el área ocurre una mezcla completa, es decir que todo el aire ayuda a diluir el contaminante, antes de que sea respirado por alguien, pero esto no ocurre así en la realidad.

Por estas razones, se introduce un factor "K" que incrementa la cantidad de aire teórica necesaria para diluir los contaminantes y ajustarla para realizar una mezcla completa, este valor tienen un rango de 1 a 10.

Se debe tomar en cuenta que se trata de realizar una dilución de los dos principales contaminantes de la planta, que es el cemento y el dióxido de azufre, para lo cual primero se procede como se indico en el apartado anterior.

Primero se va a calcular el flujo de aire necesario para mantener el nivel de contaminación del cemento en 400 ppm.

Rata de flujo de aire para el contaminante tóxico o irritante

$$Q = \frac{F \cdot (gr\ sp)(W)(K) * 1,000,000}{(M)(L)}$$

Donde:

Q = flujo de aire por dilución ( $\text{ft}^3/\text{min}$  ;  $\text{m}^3/\text{s}$ )

F = factor de conversión de unidades para el líquido utilizado en un intervalo de tiempo. (Ver Anexo 4)

spgr = gravedad específica del líquido.

W = cantidad de líquido usado en un intervalo de tiempo.(gal/h)

M = peso molecular del contaminante.

L = Concentración deseada del contaminante en el área de trabajo (ppm).

K = Factor de seguridad, depende de la efectividad del sistema y la uniformidad de la evolución del contaminante. (Ver Anexo.3)

De los cálculos y las gráficas se puede notar que la dispersión de los gases contaminantes se produce en menos de un minuto, esto se debe a que el tamaño de la cámara de cemento es pequeño.

En la ventilación localizada el aire contaminado es captado en el mismo lugar que se produce evitando su difusión por todo el local. Se logra a base de una campana que abrace lo más estrechamente posible el foco de polución y que conduzca directamente al exterior el aire captado los factores que afectan el buen desempeño de las campanas son:

- Minimizar las corrientes externas del aire que podrían dispersar los contaminantes, o si no se las puede eliminar se debe desviar la corriente mediante paneles que la obstruyan.
- Eliminar las fuerzas dispersivas que provoca la maquina o el proceso lo cual ayuda a propagar el contaminante, como por ejemplo los equipos que utilizan aire comprimido, tambores pulidores y hasta la excesiva vibración.

Con este sistema de ventilación se concentra la extracción en un solo punto del edificio y por medios mecánicos, extractor/ventilador, se logra controlar el caudal de aire. Una red de conductos y accesorios de aspiración, expulsión, transmisión de aire, aseguran una distribución uniforme y un barrido eficaz de los contaminantes.

Además se requiere conductos bien diseñados y ventiladores seleccionados de manera adecuada debido a que el flujo del aire por tal conducto absorbe energía del ventilador que lo impulsa/extrae debido al roce con las paredes, los cambios de dirección o de sección y los obstáculos que se hallan a su paso. La rentabilidad de una instalación exige que se minimice esta parte de energía consumida.

## **CAPÍTULO 4**

## DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Para el sistema por dilución el caudal de aire que se debe impulsar dentro del local se calcula sumando los caudales de aire de extracción que son los del área de encementado  $5606 \text{ ft}^3/\text{min}$  y de vulcanización  $3928 \text{ ft}^3/\text{min}$  y restando el caudal por infiltración  $2794 \text{ ft}^3/\text{min}$  es decir:  $6740 \text{ ft}^3/\text{min}$ , de las características de los contaminantes se puede apreciar que no presentan cualidades de ser agentes ácidos o corrosivos, que puedan dañar los metales, pero por protección de los ductos se utilizara material galvanizado, además los parámetros que se seleccionen como velocidad y caudal son suficientes para vencer cualquier tipo de resistencia inercial o por efectos de la gravedad específica de los gases.

Se utilizará un ventilador centrífugo para la extracción de contaminantes en la cabina de encementado utilizando además una sección de filtrado que consta de dos etapas un prefiltro mediante filtros lavables ( Pérdidas de  $0.22 \text{ pulg H}_2\text{O}$ ) y el filtro de carbón activo para eliminar los compuestos orgánicos volátiles (VOC) que contiene el solvente, y evitar la contaminación de la atmósfera debido a los gases extraídos (pérdidas de  $0.55 \text{ pulg H}_2\text{O}$ ) .

Pero con el objeto de evitar corrientes estáticas que podrían originar posibles incendios debido al transporte de gases volátiles los ductos deben ser conectados a tierra con cable #2 AWG desnudo y varilla de cobre.

En el caso de la ventilación localizada para la zona de preparación la campana lateral ayuda a capturar los gases contaminantes y el material particulado lo más cerca de la fuente de contaminación ésta se ubicará sobre las máquinas que ayudan al soporte y rotación de la llanta

El problema en la raspadora radica en que la campana o caperuza del tambor de cuchillas es muy bueno para las partículas grandes y medianas pero no para partículas pequeñas según estudios de la NIOSH (Instituto nacional para la seguridad y salud ocupacional) aunque se eleve la velocidad de succión no se logra atrapar completamente las partículas, por lo que se recomienda el uso de

una campana auxiliar que ayuda a capturar la articulas mas pequeñas y reduce de un 30 a 70% los niveles de contaminación.

Por lo que en esta zona se utilizara una campana ubicada sobre la caperuza, esta campana es del tipo de rendija con rebordes (flanged slot) para la cual se manejará una velocidad de captura de 2000 fpm para asegurar un buen desenvolvimiento de la campa y una velocidad en los ductos de 4000 fpm, igualmente se debe colocar rejillas metálicas por protección personal y del equipo.

El dispositivo más recomendado para la separacion de material solido y gaseoso que proviene de procesos indus triales que manejan partículas de más de 5  $\mu\text{m}$  es el ciclón, que provee una eficiencia del 95% lo cual es muy conveniente para limpiar el aire que va a ser despedido en el ambiente. De acuerdo a las características del material el hule y vapores de azufre no son contaminantes corrosivos, ni metálicos que podrían dañar el material del ciclón el único inconveniente es la posibilidad de impregnarse en las paredes por lo que se necesita una limpieza semanal del interior, por lo tanto se utilizará un acero al carbono de espesor de 1/8 de pulgada.

Se utilizara un extractor para las dos áreas el caudal que maneja este extractor es de 15642 ft<sup>3</sup>/min @ 6.9 s.p.

## CAPITULO 5

### ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

La importancia que tiene hoy en día poseer herramientas adecuadas para decidir sobre la conveniencia económica de realizar determinados proyectos de inversión se fundamenta en la necesidad de obtener una visión lo más certera posible en cuanto a la rentabilidad y el riesgo asociado al proyecto

Es que si para la vitalidad de la producción y los servicios es importante el cuidado, mantenimiento y la preservación de equipos, maquinarias y herramientas, mucho más lo es el hombre y con una mayor connotación en un sistema como el nuestro; pues es lo máspreciado de la sociedad.

El problema con este tipo de proyectos es que su análisis económico se basa en estimaciones y supuestos ya que no se puede saber exactamente cuando ocurrirá tal o cual efecto sea accidente o enfermedad, por lo que se utiliza una técnica basada en el método probabilístico desarrollado por William T. Fine, permite calcular la relativa gravedad y peligrosidad de cada riesgo a través de una fórmula que, ponderando diversos factores de la inspección de los riesgos, calcula el peligro de un riesgo estableciendo unas “magnitudes del riesgo” que determinan la urgencia de las acciones preventivas. Mediante una fórmula adicional se pondera el coste económico y la efectividad de las posibles acciones correctoras frente a la “magnitud del riesgo” y nos determina si su coste tiene justificación.

### **Cálculo de la Magnitud de riesgo (MR).**

Con dicho cálculo se obtiene una evaluación numérica considerando tres factores:

- a) las Consecuencias (C) de un posible accidente debido al riesgo.
- b) la Exposición (E) frecuencia con que ocurre la situación de riesgo.
- c) la Probabilidad (P) de que ocurra la secuencia completa del accidente y consecuencias.

$$MR = C \times E \times P$$

Donde si

MR > 500            EL RIESGO DEBE SER CORREGIDO DE URGENCIA. PUEDE IMPLICAR PARO DE LA ACTIVIDAD

100 < MR < 500    MUY ALTO REQUIERE CORRECCION INMEDIATA

10 < MR < 100    PRECISA ATENCIÓN RIESGO DEBE SER CORREGIDO PERO NO ES URGENTE

MR < 10            ES UN RIESGO ASUMIBLE

Para justificar una acción correctora propuesta para reducir un situación de riesgo, se compara el costo de la acción correctora con el grado de peligrosidad. Para la justificación se añaden dos factores: Costo y Corrección.

Magnitud del riesgo

Justificación = -----

Factor de costo x Grado de Corrección

Para determinar si un gasto propuesto está justificado, se sustituyen los valores en la fórmula y se obtiene el resultado.

- El Valor de Justificación Crítico se fija en 10:  
Si justificación es mayor de 10, el gasto se considera justificado.
- Si justificación es menor de 10, la acción correctora propuesta no está justificada.
- Para valores por encima de 20, la acción correctora propuesta es altamente interesante por su efecto reductor del riesgo

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El índice de calidad de aire (ICAIRE) elevará su valor hasta un 63% lo que ubicaría la planta en una zona de moderada afectación, mediante la selección y ubicación de los sistemas de extracción e impulsión en los lugares mas idóneos de acuerdo a la investigación de las mejores prácticas que en ventilación industrial y control de contaminantes existe, por medio de las publicaciones de instituciones como OSHA, ACGIH y ASHRAE que son mundialmente reconocidas por sus aportaciones y experiencias en este campo de la industria.

Los niveles permisibles para la exposición de los contaminantes se establecen en 400ppm para el solvente de caucho, 350 mg/m<sup>3</sup> para el SO<sub>2</sub> y 150 mg/m<sup>3</sup> para el material particulado, teniendo presente que la mejor manera de controlar niveles de contaminación es mediante la utilización de ventilación mecánica

La ventaja principal del diseño del sistema de extracción en la cabina de encementado es que el contaminante será barrido completamente gracias a las



rendijas ubicadas en la pared de extracción además el deflector provoca un efecto de chimenea que ayuda a evacuar los gases rápidamente

En la zona de raspado el uso de campanas auxiliares se puede reducir del 30 al 70% la emanación de partículas pequeñas.

El método de Fine para la evaluación de proyectos en materia de riesgos laborales, es aceptada por muchos profesionales dedicados al tema, debido a la falta de información estadística acerca de accidentes y enfermedades, pero mas que eso es un método sencillo y muy acercado a la realidad

Para los sistemas de ventilación por dilución es muy recomendable ubicar la extracción en zonas altas y la impulsión lo mas cerca posible de las personas con el fin de proporcionarles aire fresco para respirar y evacuar los contaminantes sin que sean captados por la personas

Poner mucha atención a las velocidades de captura y transporte de los distintos materiales y contaminantes

Utilizar tubería galvanizada con sección circular para evitar las obstrucciones por partículas

Llevar un control inmediato de las perdidas económicas que representan los tiempos improductivos por enfermedad y accidentes ya que es un rubro que toda empresa responsable puede ahorrarse.

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

### 1.1 ANTECEDENTES

RENOVALLANTA SUPERIOR es una empresa dedicada al reencauche en frío de neumáticos para camión y camioneta su planta esta ubicada en la parroquia Turubamba, en la Panamericana sur Km 14 ½ tiene como vecino colindante la planta de Eternit. Se inauguro hace 8 años y el horario de trabajo en producción es de 24 horas diarias en tres turnos de lunes a viernes, la capacidad instalada es de 230 llantas /día y su capacidad operativa es de 135 llantas /día, el área total del predio es de 3824 m<sup>2</sup>, de donde en procesos productivos se ocupa 995 m<sup>2</sup>, y los equipos de generación de energía y tanques de combustible ocupan 75.7m<sup>2</sup>. En la tabla 1.1 se exponen las actividades productivas de la planta, los contaminantes y los efectos que producen a la salud de los trabajadores.

La planta desde su inicio ha trabajado sin prevención de los problemas que en la salud de los trabajadores causan los focos contaminantes, solamente existe control en el área de raspadora y preparación pero no satisface la demanda de descarga ya que en el ciclón<sup>1</sup> existen fugas de polvillo al aire exterior lo que indica una falla en el sistema o que esta mal diseñado, además la extracción no es del todo buena ya que en el lugar de trabajo se asienta una gran cantidad de caucho raspado y en las áreas de encementado y vulcanización, no poseen ningún sistema de ventilación y esto ha provocado que la calidad de aire en la zona de producción sea muy preocupante, teniendo en cuenta los riesgos a los que exponen a sus trabajadores como se aprecia a continuación.

.

---

<sup>1</sup> Ciclón: Es un colector en forma cónica utilizado para separar las partículas sólidas de los gases, que provienen desde un determinado proceso.

PROCESO	ACTIVIDADES	CONTAMINANTES	EFFECTOS SOBRE LOS TRABAJADORES
Recepción de carcasa	Etiquetado	Ninguno	Ninguno
Inspección inicial	Chequeo de la carcasa a reencauchar	Ninguno	Ninguno
Raspado	Raspado de la carcasa mediante la máquina raspadora.	Emisión de material particulado 10 $\mu$ m, polvillo grueso (3 a 10 $\mu$ m) y dióxido de azufre.	El material particulado produce efectos como: Tos, dificultad para respirar, agrava el asma y produce daños al pulmón.
Preparación	Limpieza de agujeros mediante turbinas manuales con piedras raspadoras	Emisión de material particulado 10 $\mu$ m, polvillo fino (0.7 a 2 $\mu$ m) y dióxido de azufre.	
Reparación Seccional	Colocación de parches	Calor (para la zona de trabajo $\Delta T=2^{\circ}\text{C}$ )	Cansancio y estrés
Encementado	Pintado de la llanta con una mezcla de solvente y caucho verde	Solvente para caucho	Irritación de las vías respiratorias y los pulmones. Afecta la piel. Son potencialmente tóxicas al hígado, aun solo o combinado con otros solventes. Daña los riñones, las coronarias del corazón. Producen dolor de cabeza, mareos y náuseas
Rellenado	Colocación de rellenos en los agujeros dejados en preparación	Calor (para la zona de trabajo $\Delta T=2^{\circ}\text{C}$ )	Cansancio y estrés
Embandado	Colocación de banda precurada	Solvente en baja cantidad (despreciable)	
Vulcanizado	Utilización de Autoclaves	Emisión de dióxido de azufre	El Dióxido de azufre puede causar Efectos en los pulmones ojos y la piel Alteración de la circulación sanguínea Daños cardíacos, a los riñones e hígado.

Tabla 1.1 Contaminantes presentes en cada área productiva de la planta de RENOVALLANTA y sus efectos sobre la salud.

Una alternativa sería utilizar productos diferentes o eliminar el uso de productos que causan problemas de contaminación, fijar un horario para el uso de estos productos en horas que tengan el menor impacto en los ocupantes, pero esto es imposible ya que es imperiosa la necesidad de utilizar este solvente y el uso es durante todo el día, y el caso del azufre emanado por la vulcanización es característico del proceso.

En el Ecuador la Ley del Seguro Social Ecuatoriano en el Artículo 17 de 1942 sobre Riesgos del Trabajo y su última modificación en 1995, establece sanciones a la empresa que ha incurrido en un accidente de trabajo o enfermedades profesionales de acuerdo a diferentes grados de incapacidad, lo cual pone en alerta a la administración para que se realice un estudio en donde se presenten las diferentes soluciones a su problemas de contaminación interior.

## 1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema que se encuentra vigente en la planta y es el motivo del presente estudio es el bajo índice de Calidad de Aire en la zona de producción que es engendrado por una serie de causas entre las cuales se tienen las siguientes:

- Suministro inadecuado de aire y/o pobre mantenimiento del sistema de ventilación
- Contaminantes de procesos de producción que ocurren dentro de la planta incluyendo productos de limpieza, pesticidas, gases de combustión y emanaciones gaseosas propias de los procesos.
- Polución biológica del aire, tal como polen, pequeños insectos y microorganismos (bacterias, hongos, levaduras y algas).
- Contaminantes traídos al edificio desde el exterior.

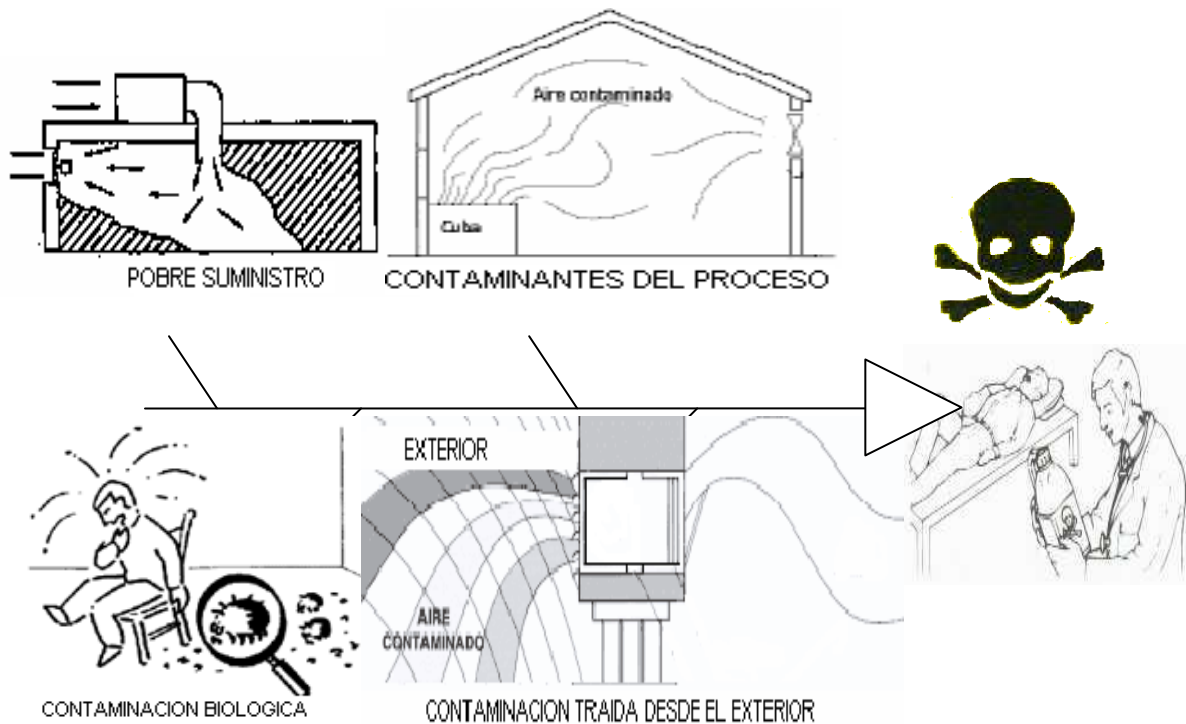


Figura 1.1 Diagrama Causa-Efecto para la planta de RENOVALLANTA

**Por consiguiente el los efectos de la baja calidad de aire interior consisten en una serie de síntomas y enfermedades como por ejemplo:**

- Irritaciones de los ojos, la nariz y la garganta
- Piel y membranas mucosas secas
- Eritema (piel de color rojizo; erupciones)
- Fatiga mental, dolor de cabeza e insomnio
- Infecciones de los pasajes respiratorios y tos
- Ronquera y respiración dificultosa
- Nausea y mareo

No hay una tendencia rápida y aguda a contraer síntomas; más bien, hay efectos imperceptibles y lentos. Los síntomas son a menudo subjetivos, y otros problemas como el estrés (incluyendo estrés del calor) pueden agravar el problema. Algunas personas pueden ser particularmente susceptibles, ya que las personas

expuestas a una baja calidad de aire interior frecuentemente experimentan síntomas subjetivos, a menudo se considera a estas personas como sobre-emocionales o simplemente quejosos entonces es importante analizar este problema en una forma científica para poder tomar un enfoque constructivo con miras a implementar soluciones.

Es por todo este análisis que la gerencia ha decidido apoyar la realización del presente estudio que les permitirá poseer un documento que de a conocer el problema de contaminación que tiene su planta, y la solución mediante el diseño de sistemas que no han sido implementados y rediseño en el caso de los sistemas existentes. Además, ayudara a prevenir los daños que pueden producir en el personal que labora en ella y mejorar el ambiente de trabajo con el objetivo de elevar los índices de desempeño laboral mediante la implementación de este proyecto el cual les dejará solamente la tarea de decidir cuando implementarlo.

### 1.3 OBJETIVOS

#### **OBJETIVO PRINCIPAL**

Realizar un estudio para el mejoramiento de la calidad de aire en el interior de la planta de RENOVALLANTA SUPERIOR.

#### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Caracterizar los diferentes agentes contaminantes en la Planta Renovallanta.
- Establecer los niveles permisibles de los contaminantes existentes en la planta.
- Determinar las técnicas de ventilación apropiadas para la nave industrial de Renovallanta.
- Diseñar los sistemas de ventilación
- Estudiar el costo de la implementación.

## **1.4 ALCANCE DEL PROYECTO**

El presente proyecto se encamina a poseer un documento que permita a la gerencia de planta poder decidir sobre la implementación de los diferentes sistemas de ventilación que se adecuen a sus necesidades para mejorar la calidad de aire interior, este documento se limita al diseño de tuberías y conductos, selección de ventiladores mediante el respectivo análisis de contaminantes, y terminar con el análisis económico-financiero del mismo, para poseer las bases y poder sugerir su implementación.

## **CAPÍTULO 2**

### **ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ACTUAL DE LA PLANTA**

#### **2.1 Descripción del proceso de producción en la reencauchadora**

El proceso de producción en la reencauchadora RENOVALLANTA S.A. consta de 9 pasos:

##### **2.1.1 PRIMER PASO: INSPECCIÓN INICIAL**

El proceso de reencauche se inicia con la recolección de carcasas<sup>2</sup> de los clientes o de los distribuidores, una vez ingresadas a planta de reencauche son sometidas a un control riguroso de inspección que sirve para seleccionar las que se encuentren aptas para ser reencauchadas o caso contrario se las deshecha.

---

<sup>2</sup> La carcasa: Es el cuerpo mismo del neumático



Foto 2.1 Proceso de inspección inicial

### 2.1.2 SEGUNDO PASO: RASPADO

En este paso mediante una máquina que posee un tambor con cuchillas especiales se retira la banda de rodamiento<sup>3</sup> desgastada, es aquí donde comienza la contaminación debido al desbaste que sufre el neumático, existe la emanación de partículas de caucho y de dióxido de azufre.



Foto 2.2 Proceso de raspado

### 2.1.3 TERCER PASO: PREPARACIÓN O ESCORIACIÓN

Consiste en retirar de toda la superficie de la carcasa cualquier material extraño que se encuentre incrustado, este proceso se lo realiza únicamente con turbinas de alta revoluciones que poseen piedras de tungsteno, al igual que en el paso anterior este es el foco contaminantes de partículas de caucho y dióxido de azufre.



Foto 2.3 Proceso de preparación

---

<sup>3</sup> Banda de Rodamiento: Es la superficie de contacto de la cubierta con el suelo por lo que es la zona de mayor desgaste.



#### **2.1.4 CUARTO PASO: ENCEMENTADO**

Consiste en la colocación de una película muy fina de cemento (Caucho crudo<sup>4</sup> diluido en solvente) en toda la superficie del área de rodamiento de la carcasa para conseguir una gran adherencia con el resto de materiales que serán colocados, tales como relleno, parches, cojín y banda de rodamiento, se lo realiza con la utilización de brochas y un tanque abierto que contiene el cemento lo cual provoca la evaporación del solvente y su traslado hacia las zonas aledañas.

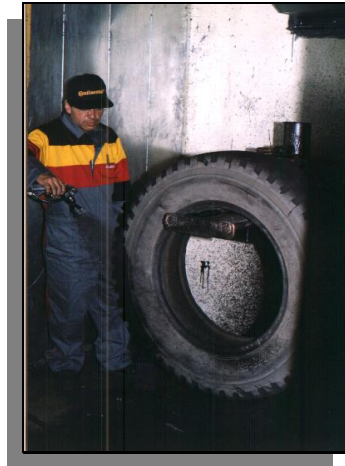


Foto 2.4 Proceso de encementado

#### **2.1.5 QUINTO PASO: RELLENADO**

El relleno consiste en colocar caucho crudo mediante una pistola extrusora en cada una de las depresiones producto de la limpieza realizada en la preparación, para evitar la presencia de aire atrapado el cual podría ocasionar algún problema de separación de banda cuando el neumático se encuentre en funcionamiento.

Luego se coloca el cojín (lamina de caucho crudo de aprox. 1.2mm de espesor) el mismo que será el elemento que servirá para que la banda de rodamiento se adhiera perfectamente a la carcasa mediante el proceso de vulcanización, prácticamente es un proceso limpio no existe emanación de contaminantes.

---

<sup>4</sup> Caucho crudo: Es el caucho que no ha sido vulcanizado, el caucho vulcanizado tiene más fuerza, elasticidad y mayor resistencia a los cambios de temperatura que el no vulcanizado.



Foto 2.5 Proceso de relleno

### **2.1.6 SEXTO PASO: EMBANDADO**

Mediante una maquinaria semiautomática en este paso se procede a la colocación de la banda de rodamiento<sup>3</sup> vulcanizada, la misma que debe ser de la medida exacta, de acuerdo a la construcción de la carcasa, así como también el diseño solicitado por los clientes.



Foto 2.6 Proceso de embandado

### **2.1.7 SÉPTIMO PASO: ENVELOPADO**

Consiste en colocar en el neumático una funda térmica llamada envelope (sobre), cuya función es mantener la banda de rodamiento bien unida a la carcasa mientras dura el proceso de vulcanización.

### **2.1.8 OCTAVO PASO: VULCANIZACIÓN**

Se conoce como vulcanización o cura al fenómeno mediante el cual se somete al caucho a temperaturas establecidas para lograr un cambio de propiedades, consiguiéndose un material con características diferentes a las iniciales tales como mayor dureza, resistencia y durabilidad, las mismas que son de mucha importancia para el buen desempeño de los neumáticos.

La vulcanización de los neumáticos se lo realiza combinando tres factores presión, tiempo y temperatura, pero este proceso provoca que se despidan una gran cantidad de  $\text{SO}_2$  cada vez que se termina el proceso, y no se poseen sistemas de control de este contaminante.



Foto 2.7 Proceso de vulcanización

### **2.1.9 NOVENO PASO: CONTROL DE CALIDAD**

Es el último paso del proceso de reencauche, donde mediante una inspección minuciosa del neumático verificamos que cada etapa del proceso se haya realizado correctamente de esta manera confirmamos el cumplimiento de los estándares de calidad que abalicen la confiabilidad del trabajo realizado.

## **2.2 EQUIPAMIENTO Y MAQUINARIAS**

ÁREA	MÁQUINA	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD
RASPADO	DESBASTADORA DE LLANTAS	Posee un tambor giratorio armado con cuchillas de acero impulsado por un motor de 30 hp y giran a una velocidad entre 1700 y 1800 rpm y provoca una velocidad lineal en el punto de contacto de 700 pies por minuto, la llanta es presionada contra las cuchillas mediante pistones hidráulicos	Esta máquina esta operando a un ritmo de 30 llantas por hora. Se ha promediado una rata de 2 Kg. de polvillo por cada llanta.
PREPARACIÓN	TURBINAS NEUMÁTICAS	Existen dos puestos de preparación para el trabajo se utiliza piedras pulidoras que giran a 14000 rpm y la herramienta posee una potencia de 4 hp con un consumo de 12 cfm de aire comprimido.	Trabajan a un promedio de 14 llantas por hora, produciendo una cantidad de polvillo que esta entre 0.6 y 1.2 Kg. por cada llanta.
VULCANIZACIÓN	AUTOCLAVES	Se cuenta con dos máquinas que trabajan mediante la utilización de vapor de agua y aire comprimido, la temperatura de trabajo es de 270 °F y la presión de cámara es de 8 bares . Estas máquinas son responsables de la emanación del SO <sub>2</sub> .	Se tienen una de 15 y 23 llantas cuyo tiempo de vulcanización es de 3 horas. Sus cámaras poseen un volumen de 382 y 540 ft <sup>3</sup> respectivamente.

Tabla 2.1 Descripción de las máquinas responsables de la contaminación en el interior de la planta de Renovallanta

### 2.2.1 Evaluación de los sistemas de ventilación existentes

La planta posee únicamente sistemas de extracción en las zonas de raspado y preparación que son los siguientes:

### 2.2.1.1 Zona de Raspado

A continuación se presenta un esquema del sistema de extracción para la raspadora CAHILL CX-88

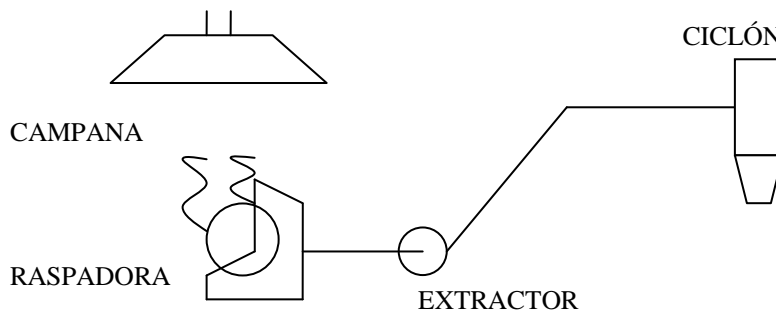


Figura 2.1 Sistema de extracción actual en la zona de raspado

El tambor de cuchillas posee un diámetro de 10 pulg., se conecta a la extracción mediante un ducto de 8 pulg., que viene desde la campana de pedestal ubicada en la máquina, se utiliza un ventilador centrífugo con un flujo de 2700cfm para la extracción de polvillo grueso (3 a 10 mm) producto del raspado del caucho por las cuchillas de la máquina desbastadora, esta acoplado con un motor eléctrico de 5 hp a 3475rpm, al final de la línea tenemos un ciclón que proporciona una descarga de 0.12 tons/hr que tiene instalado un extractor centrífugo acoplado a un motor de 18 hp a 3500 rpm.

La extracción no es completa alrededor del 30 a 40% del material no es evacuado y se asienta en el piso, es necesario un cambio en el diseño o nuevos cálculos para mejorar esta zona.

Esta área además posee extracción una campana de recepción de 120 x 70 cm. ubicada a 1m del tambor de cuchillas, conectada mediante tubería de 14 cm. a un ventilador centrífugo de 3 hp a 3490rpm que proporciona un flujo 3000 cfm, la utilización de este tipo de campanas no es recomendable cuando se trata de

extraer material sólido, ya que se debe atrapar al contaminante en la fuente, la campana utilizada solo sirve para recibir los gases que emana el proceso, entonces el material particulado se asienta en el lugar de trabajo y además se esparce por el resto de la planta .

### 2.2.1.2 Zona de Preparación

Posee campanas de recepción de 700 x 500 mm, cuyo ventilador tiene una capacidad de 2500 cfm acoplado a la tubería de 295 mm de diámetro, e impulsado por un motor de 1/2hp a 1750 rpm.

Su diseño no es correcto ya que al igual que el caso de la raspadora no se provee de un sistema que extraiga el polvillo fino (0.7 a 2 mm) se ha puesto mas énfasis en extraer los gases que emana el proceso, y a simple vista se puede apreciar que la contaminación en estas áreas es elevada y eso lo demuestra el análisis de calidad de aire.

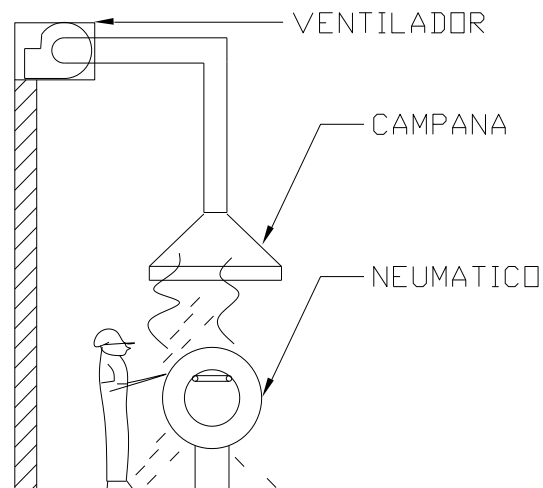


Figura 2.2 Esquema del sistema de extracción actual del área de preparación

### 2.2.1.3 Zona de Encementado

Tiene instalado un sistema de ventilación el cual nunca ha sido utilizado por la mala ubicación en la que se encuentra ya que justamente en el lugar donde se encuentra el ventilador existe una zona donde se pule la banda que va al reproceso y lo que el ventilador provoca es la impulsión del polvillo (3 a 10 mm y PM 10<sub>mm</sub>) y desde el exterior hacia el lugar de trabajo lo que solo ayuda a contaminar mas el interior e incomoda al trabajador de la cámara de cemento.

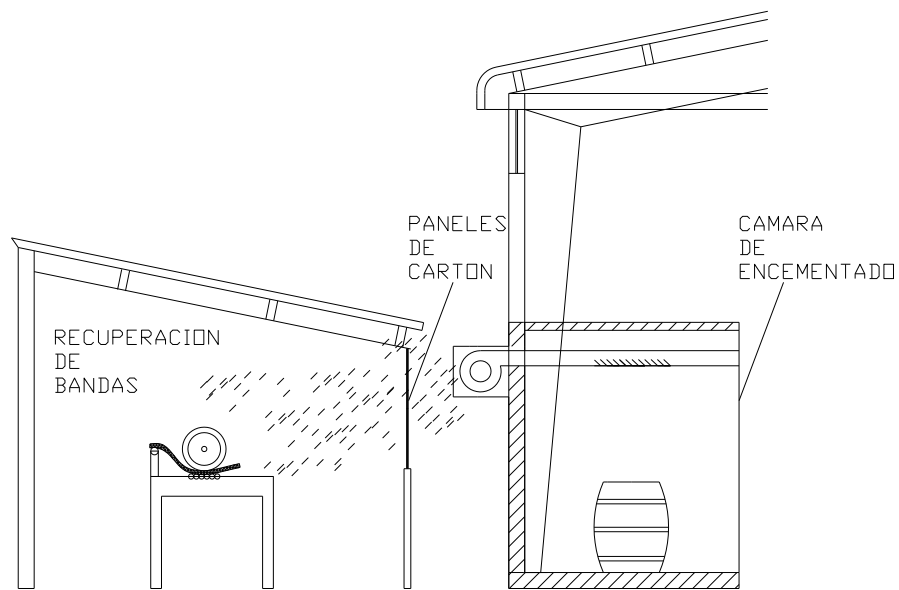


Figura 2.3 Esquema del sistema de ventilación actual en la zona de encementado

Es decir basta con observar los lugares de trabajo y la inspección de calidad de aire, para concluir que los sistemas que existen en la planta no son los suficientes y que además necesitan ser rediseñados para satisfacer las normas de salud ocupacional y proporcionar un ambiente de trabajo mas limpio.

## 2.3 Diagrama del proceso

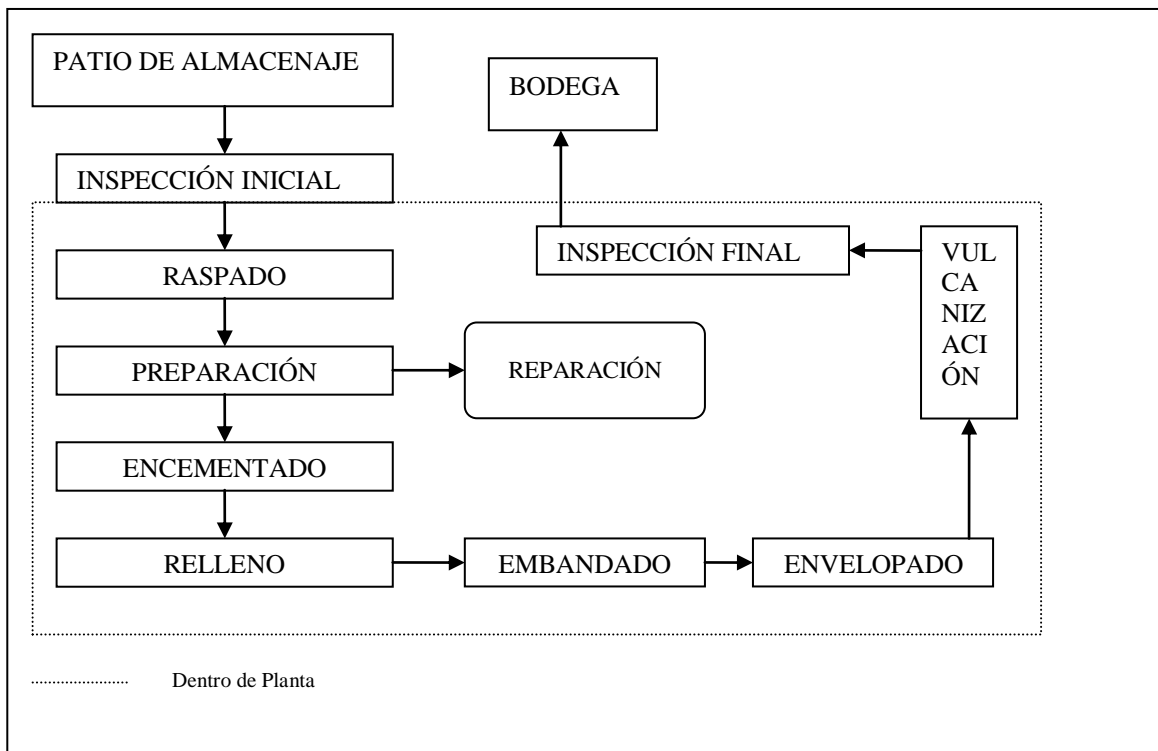


Figura 2.4 Diagrama del proceso de producción de Renovallanta

## 2.4 Dimensiones de los puestos de trabajo

Zona de trabajo	Dimensiones a x b x h (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Raspado	6.85x5.50x2.80	37.67	105.5
Preparación	8.50x5.50x2.80	46.75	130.9
Encementado	2.70x2.45x2.45	6.61	16.2
Relleno	3.80x 5.50x5.6	20.9	117
Embandado	6.80x2.90x5.6	19.72	110.43
Envelopado	2.30x2.90x5.6	6.67	37.35
Vulcanización	16.1x12.0x8.50	193.2	1642.2
Insp. Final	6.85x6.75x5.6	46.23	259

Tabla 2.2 Dimensiones de los puestos de trabajo



## 2.5 Número de trabajadores

Puesto de trabajo	Numero de trabajadores por turno	Personal en transito	Personal en riesgo por contaminación
Raspado	1	0	1
Preparación	2	1	3
Encementado	1	1	2
Relleno	2	1	3
Embandado	1	0	1
Vulcanización	2	1	3
Inspección final	2	2	4

Tabla 2.3 Cantidad de trabajadores en cada proceso

## 2.6 Cálculo de infiltración de aire por ventilación natural

La siguiente ecuación muestra la razón de flujo de aire a través de puertas, ventanas o cualquier tipo de apertura en las paredes que se encuentren en dirección del viento lo cual produce una presión positiva por el contrario en la pared opuesta se produce presión negativa lo cual provoca la expulsión de aire del local:

$$Q = C_v * V * A \quad (2.1)$$

Donde Q = Tasa de flujo de aire (m<sup>3</sup>/s)

A = Área libre de ingreso (m<sup>2</sup>)

v = velocidad del viento (m/s)

= 5.5 m/s prevaleciendo la dirección del viento hacia el Noreste <sup>5</sup>  
pero para el diseño se calcula con la mitad de la velocidad debido a las variaciones climáticas.

<sup>5</sup> Fuente: INAMHI Estación Izobamba medidas de velocidad y dirección del viento.

$C_v$  = Coeficiente de efectividad ( 0.5 a 0.6 para vientos perpendiculares y 0.25 a 0.36 para vientos diagonales dependiendo de las obstrucciones presentes.)

En la planta existen 3 ventanas ubicadas en dirección Oeste de la misma ( $C_v = 0.25$ ), una puerta hacia el norte donde el flujo de viento es bloqueado por las paredes que cercan el terreno, y una puerta hacia el Este que se encontraría opuesta a la dirección del viento por lo que no aportan en el cálculo de infiltración de aire.

**Infiltración por ventanas:**

<b>Cant</b>	<b>Servicio</b>	<b>Dirección</b>	<b>Utilización</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Cv</b>	<b>Caudal Q (m<sup>3</sup>/s)</b>
3	Ventilación de las áreas	Oeste	Permanente	0.64 x 3	0.25	1.32

Tabla 2.4 Infiltración por ventanas

Por motivos de infiltración de aire en el área de encementado y vulcanización solamente afectan las ventanas que brindan un caudal de 1.32 m<sup>3</sup>/s ò 2794 ft<sup>3</sup>/min.

**2.7 Análisis de la inspección ambiental de calidad de aire en interiores**

Se puede observar en el Anexo 1 el Informe técnico del monitoreo de la calidad de aire en la planta, el índice muestra que la calidad del aire esta muy afectada y como consecuencia se deberá analizar los diferentes sistemas de extracción que ayudarán a cambiar estas condiciones en las que se desenvuelven los trabajadores en la fábrica.

### **2.7.1 Concentraciones y límites permitidos de los contaminantes presentes**

Primero se debe tomar en consideración que las mediciones de calidad de aire no contemplaron la concentración de gases volátiles (solvente), pero utilizando un procedimiento teórico recomendado por la ACGIH en el Manual de ventilación industrial que es un método para reducir los niveles de contaminación existentes a un Valor Límite Umbral (TLV) adoptados por la U.S. ACGIH o Límite de Exposición Permisible (PEL) elaborados por la OSHA, es un sistema que nos proporciona la cantidad de vapor generado y el caudal de ventilación necesaria para capturar y remover de la fuente antes de que los gases lleguen al ambiente de trabajo, este procedimiento es conocido como ventilación por dilución, y no es necesario conocer cuales son las concentraciones presentes sino mas bien es prioridad conocer las condiciones en las que se trabaja con el contaminante, pero este método se lo abordará con mayor atención en el capítulo 3.

Para calcular cuanto vapor del solvente se forma cada minuto, primero se determina cuanto solvente se consume y los elementos químicos que conforman el solvente, que gracias a la información de seguridad del material o M S D S por sus siglas en inglés, del solvente para caucho, se puede conocer la información sobre límites permisibles, las características y los posibles daños y precauciones que se debe tener con el manejo del mismo. Anexo 2.

Del cual como dato relevante se puede sacar que el TLV es de 400ppm lo que significa que para una exposición de 8 horas diarias de trabajo esta es la máxima concentración permisible a la que las personas pueden trabajar, con el fin de que no se presenten problemas en la salud como los que se expusieron en el capítulo anterior.

A continuación en la tabla 2.5 se describe los datos tomados en el monitoreo de Calidad de Aire, que representan la concentración de los diferentes contaminantes presentes en la planta de los cuales el Dióxido de Azufre es el que mayor incidencia tiene en el bajo índice de calidad de aire, de acuerdo a la

Norma de Calidad de Aire Ambiente del Ministerio del Ambiente actualizada a diciembre del 2003.

Zona de trabajo	CO (mg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )
Oficinas	0.2	2617	17
Raspado	0.0	2617	32
Preparación	0.1	1570	17
Encementado	0.3	2094	26
Relleno	0.4	3140	32
Embandado	0.6	2617	17
Envelopado	0.2	3140	17
Vulcanización	0.1	2617	11
Inspección final	0.0	2617	8
Sala de calderos	0.2	3140	8
Reparación	0.3	2094	26
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.2</b>	<b>2664</b>	<b>18</b>

Tabla 2.5 Datos promedios de los parámetros monitoreados en aire ambiente

PARÁMETRO	TIEMPO PROMEDIO DE EXPOSICIÓN	VALOR LIMITE
Monóxido de Carbono	8 horas 1 hora	10 mg/m <sup>3</sup> 40 mg/m <sup>3</sup>
Dióxido de Nitrógeno	24 horas Anual	150 µg/m <sup>3</sup> 100 µg/m <sup>3</sup>
Dióxido de Azufre	24 horas Anual	350 µg/m <sup>3</sup> 80 µg/m <sup>3</sup>

Tabla 2.6 Límites permisibles para concentración de contaminantes comunes en el aire ambiente

Fuente: Norma de Calidad del Aire Ambiente (Texto de la legislación Ambiental Secundaria tomo V Anexo 4, Ministerio del Ambiente 2003)

### **2.7.2 Análisis de partículas sólidas suspendidas.**

Uno de los principales agentes determinantes de la calidad del aire son las partículas sólidas suspendidas, comúnmente denominadas TSP (partículas totales suspendidas). Las TSP se dividen de acuerdo a su tamaño en partículas menores o iguales a 10  $\mu\text{m}$  (PM10) y las menores a 2,5  $\mu\text{m}$  (PM2,5). Se ha concentrado la atención sobre las TSP porque pueden ser inhaladas y penetrar con facilidad al sistema respiratorio humano, causando efectos adversos a la salud de las personas. Es así como, la Norma Primaria de Calidad del aire para contaminante PM-10, establece como límite máximo ciento cincuenta microgramos por metro cúbico normalizado de aire (150  $\text{ug} / \text{m}^3$ ) como concentración promedio de 24 horas<sup>6</sup>, y para PM 2.5 sesenta y cinco microgramos por metro cúbico (65  $\text{ug} / \text{m}^3$ ).

El material particulado se determinó mediante un muestreo en tres áreas de la planta, donde se realiza el desbaste fino y grueso (preparación y raspado), que son los focos de emisión de partículas de caucho y en el área de vulcanización para tener una información de la cantidad de material que llega a las demás zonas de trabajo, se recolecta las muestras haciéndolas pasar por filtros de porosidad definida (PM10), es decir las mediciones son de material particulado PM10.

#### **2.7.2.1 Partículas totales suspendidas PM10**

Las partículas grandes miden entre 2.5 y 10 micrómetros. Estas partículas son peligrosas para la salud porque su pequeño tamaño hace posible que pasen a través de las fosas nasales y lleguen al interior de los pulmones.

---

<sup>6</sup> [www.sesma.cl](http://www.sesma.cl)

En el interior de la planta el desbaste de llantas provoca una alta concentración de material particulado que era necesario conocer su valor para lograr determinar las soluciones a tan grave problema para la salud de los trabajadores.

### **2.7.2.2 Partículas totales suspendidas PM2.5**

Las partículas pequeñas son menores a 2.5 micrómetros (100 veces más delgadas que un cabello humano). Éstas pueden pasar a través de las vías respiratorias más pequeñas. Las partículas más grandes tienen más posibilidades de adherirse a las paredes, o pueden acuñarse en los pasajes estrechos de los pulmones

Pero debido a la falta de equipamiento de las entidades que se consultaron para la medición de calidad de aire no se pudo establecer concentración de de partículas PM 2.5 solamente de las PM 10 como ya ese explicó anteriormente ya que el aire pasa por filtros de porosidad PM 10, es decir en las mediciones tenemos partículas menores a 10 micrómetros lo que indica que están dentro de éstas las PM 2.5.

### **2.7.2.3 Características del contaminante**

Las PM10 principalmente son compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín). Dentro de los metales, los más relevantes desde un punto de vista toxicológico son el arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo, entre otros.

Las partículas pequeñas son más ligeras y permanecen en el aire más tiempo y viajan lejos. Las partículas PM10 (grandes) pueden permanecer en el aire por minutos u horas mientras que las partículas (pequeñas) pueden permanecer en el aire por días o semanas. También, las partículas PM10 pueden viajar tan poco como cien yardas o en ciertos casos tanto como hasta treinta millas. Las partículas PM 2.5 pueden viajar más lejos tanto como cientos de millas.

#### 2.7.2.4 Fuentes principales

El tamaño no es la única diferencia. Cada tipo de partículas están hechas de diferente material y provienen de diferentes lugares.

<b>Partículas Ásperas (PM10)</b>	<b>Partículas Finas (PM2.5)</b>
Humo, tierra y polvo tóxicos de las fábricas, la agricultura y caminos.	Compuestos orgánicos. Metales pesados.
Mohos, esporas y polen.	Polución automotriz.
Moliendo y aplastando rocas y tierra que el viento levanta. Desbaste de materiales.	Quemando plantas (arbustos e incendios forestales desperdicios del jardín). Fundiendo (purificando) y procesando metales.

Tabla 2.7 Fuente de emanación de partículas PM10 y PM 2.5

Fuente: Artículo SESMA. (Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente).

Evolución de la contaminación atmosférica (por material particulado respirable).

[www.sesma.cl](http://www.sesma.cl)

Tomando en cuenta los procesos que se realizan en la planta se puede concluir que la emisión de material particulado proviene del desbaste de llantas y de la vulcanización, que son los procesos de emanación de contaminantes más peligrosos.

#### 2.7.2.5 Efectos principales

Ambas partículas PM10 (grandes) y PM2.5 (pequeñas) pueden causar problemas a la salud, específicamente a la salud respiratoria (la de los pulmones y vías respiratorias). Por viajar más profundamente en los pulmones y por estar compuesta de elementos que son más tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos que causan cáncer) las partículas PM2.5 pueden tener efectos más severos a la salud que las partículas más grandes, PM10.

El exponerse a partículas conduce al incremento de uso de medicamentos y más visitas al doctor o a la sala de emergencias. Efectos a la salud incluyen los siguientes:

- Tos, resollo, dificultad para respirar.
- Agrava el asma
- Daño al pulmón (incluyendo la disminución de la función del pulmón y

Zona de trabajo	PM10( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valor Norma( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) <sup>7</sup>
Raspado	6039.47	150
Preparación	10203.95	150
Vulcanización	2220.40	150

enfermedades respiratorias de por vida).

- Muerte prematura en individuos con enfermedades existente del corazón y del pulmón.

### 2.7.2.6 Concentraciones presentes y límites permitidos

Tabla 2.8 Concentración de material particulado

<sup>7</sup> Norma de Calidad del Aire Ambiente(Texto de la legislación Ambiental Secundaria tomo V Anexo 4, Ministerio del Ambiente actualizado a diciembre del 2003)



Los valores son excesivamente elevados con relación al valor norma como limite permitido, a la exposición de este tipo de contaminante, lo cual vuelve demasiado peligroso el trabajo y esfuerzo en los lugares de trabajo, e indica además que sus sistemas de ventilación están mal diseñados, tienen problemas de mantenimiento o no existen.

Para mejor entendimiento de los cálculos y mediciones en el anexo 1 se encuentra explicada la técnica utilizada para la determinación de la calidad de aire en interiores.

## CAPÍTULO 3

### SISTEMAS DE VENTILACIÓN PARA LA EVACUACIÓN Y ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES A UTILIZARSE

#### 3.1 Maneras de ventilar

##### 3.1.1 Extracción del aire viciado del local

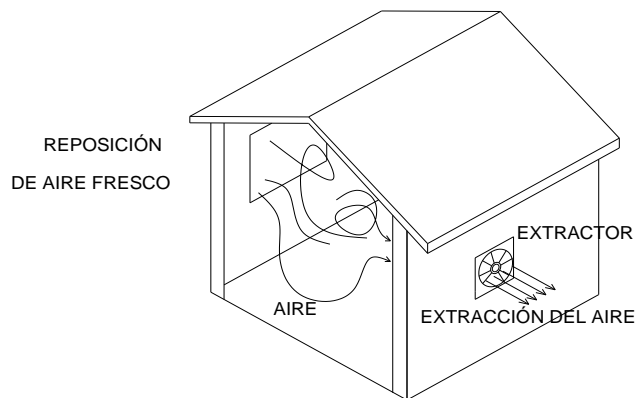


Figura 3.1 Ventilación por Depresión

Se logra colocando el ventilador extractor para evacuar el aire del local, lo que provoca que éste quede en depresión respecto de la presión atmosférica. El aire penetra desde fuera por aberturas dispuestas para ello.

Es utilizado en locales donde el aire exterior sea limpio y además de acuerdo a la condición del local donde las aberturas estén diametralmente opuestas a la situación de los extractores

Como inconveniente de este sistema, especialmente en caudales importantes, se tendría la dificultad de controlar las condiciones del aire de entrada, procedente del exterior y que ha de sustituir el aire extraído.

### 3.1.2 Impulsión de aire nuevo

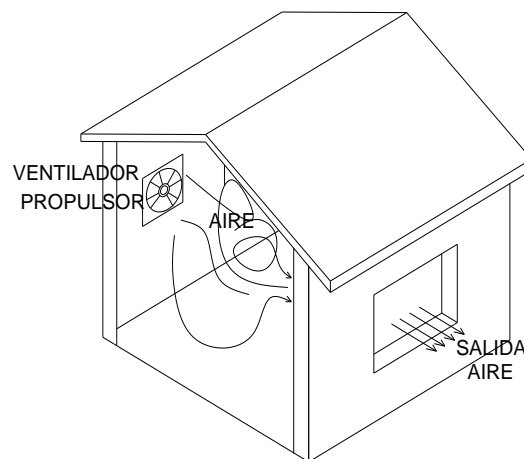


Figura 3.2 Ventilación por sobre presión

Se trataría de introducir aire reduciendo la concentración de los contaminantes interiores mediante ventiladores que logran poner en sobrepresión interior respecto a la presión atmosférica. Entonces el aire fluye hacia el exterior por las aberturas dispuestas para ello

En aquellos locales que, se puede controlar las condiciones del aire a infiltrar, se pretende evitar la entrada de contaminantes exteriores, como por ejemplo polvo, hacia las salas a ventilar.

Donde no se dispone de aberturas directas al exterior o bien no se puede estar pendiente de si hallarán abiertas o cerradas.

### 3.1.3 Extracción-Impulsión en el mismo local

Consiste en la utilización de los dos sistemas anteriores en conjunto para conseguir un barrido total de los contaminantes, ya que así se asegura un flujo continuo por las entradas y salidas.

En los locales en los cuales no se disponen de entradas y salidas correctamente dispuestas y es difícil controlar el flujo de aire.

Habitualmente la utilización de ambos sistemas va asociada a la utilización de conducto y rejillas, tanto para impulsión como para extracción, para lograr una óptima distribución del aire.

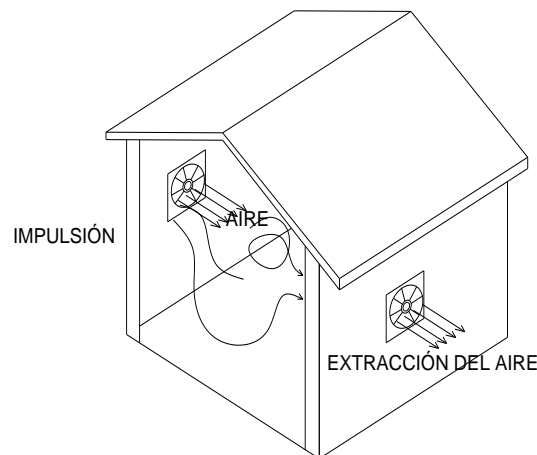


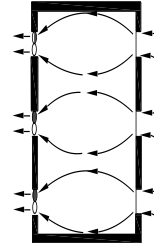
Figura 3.3 Ventilación en equilibrio de presión

## 3.2 Sistemas de ventilación general

Las maneras de ventilar antes mencionadas son las técnicas utilizadas para realizar la ventilación general o también conocida como ventilación ambiental, es decir la sustitución de una porción de aire que se considera indeseable por otra que pretenderá mantener el aire del interior del recinto en un grado de contaminación adecuado y además brinda información necesaria para poder elegir con que método trabajar de acuerdo a las condiciones de la planta, en especial las condiciones físicas del local en el cual se va a instalar los equipos.

Debido a la gran variedad de construcciones que existen, dificulta que se den normas fijas respecto a la disposición de los sistemas de ventilación, sin embargo existen unas recomendaciones generales que deberían seguirse en lo posible:

- Los ventiladores deben situarse diametralmente opuestos a las entradas de aire, de modo que el caudal de ventilación atraviese toda la zona contaminada.



- Colocar los extractores cerca de los focos de contaminación para captar el aire nocivo antes de que se difunda por el local



- Debe procurarse que el extractor no se halle cerca de una ventana abierta, o de otra posible entrada de aire ya que el aire entrará por la misma y será aspirado y expulsado, provocándose lo que se conoce como cortocircuito de aire (entrada y salida tan próximas que el aire sólo recircula entre ambos puntos), sin que se produzca la ventilación prevista.

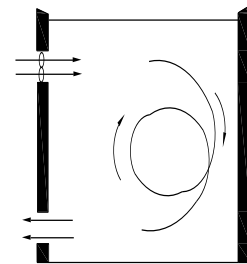


Figura 3.4 Recomendaciones a tomar en consideración para la disposición de los ventiladores y extractores

Fuente: Ventiladores Soler Palau Hojas Técnicas

La razón de ventilar los habitáculos humanos es el de proporcionar un ambiente higiénico y confortable a los ocupantes ya que se estima que pasan encerrados en locales un noventa por ciento de su tiempo. Hay que diluir el olor corporal, controlar la humedad, el calor, el humo y la polución de las actividades industriales.

Una forma de proceder es calcular el caudal de aire necesario es en base al número de ocupantes y en razón a 7,5 litros por segundo y persona para los

casos normales en los que no sea significativa la polución provocada por elementos ajenos a las personas.

Pero si se hace difícil prever el número de ocupantes y se cree mejor referirse a la función del local, puede recurrirse al cálculo basado en el número de renovaciones/hora, esto es, las veces que debe renovarse por hora todo el volumen de aire del local. Para su cálculo se determina primero el volumen del local, luego se escoge el número N de renovaciones por hora (tabulado), según sea la actividad desarrollada en el local y se multiplica por el volumen dando como resultado un caudal en m<sup>3</sup>/hora.

Pero no es un procedimiento exacto ya que el número de renovaciones a realizar es un valor referencial, por esta razón cuando se tiene identificado los contaminantes se utiliza una técnica de ventilación recomendada por la ACGIH que se trata de a ventilación por dilución de contaminantes y además la orden 73-3, 296-62-11003, campo 5/7/73 emitida por la OSHA, aprueba la utilización del manual de ventilación de la ACGIH como una guía para los requerimientos de ventilación.

### **3.2.1 Ventilación por Dilución de Contaminantes**

#### **3.2.1.1 Introducción**

Como su nombre lo indica, se refiere a la dilución de aire contaminado con aire no contaminado en un área, cuarto o edificación, con el objetivo de controlar posibles atentados a la salud o por la incomodidad que ofrece un ambiente nocivo.

La ventilación por dilución no es tan satisfactoria en el control de los agentes que afectan a la salud, como lo es la ventilación localizada, sin embargo existen circunstancias en las que la dilución es una herramienta que debe ser utilizada porque las operaciones o el proceso no permite una extracción local. Además

existen circunstancias en las que la dilución provee de una adecuada cantidad de control más económica que el sistema localizado.

La utilización de la ventilación por dilución tiene cuatro factores limitantes:

1. La cantidad de contaminante no debe ser muy elevada o el volumen de aire necesario para la dilución será impracticable
2. Los trabajadores deben estar suficientemente alejados de la evolución del contaminante, o la evolución deberá ser en baja concentración así no tendrán una exposición en exceso del valor de TLV establecido.
3. La toxicidad del contaminante debe ser baja.
4. La evolución del contaminante debe ser uniforme toxicidad

<b>Clase de toxicidad</b>	<b>TLV (rango ppm)</b>
Ligeramente tóxico	>500
Moderadamente tóxico	≥100-500
Altamente tóxico	<100

Tabla 3.1 Guía de Referencia para la Ventilación por Dilución

Fuente: Henry J. McDermontt. Handbook of Ventilation for Contaminant Control.  
3ra ed. Estados Unidos de América. 2001

La dilución es raramente exitosa aplicando a emanación de gases y polvos debido a las siguientes razones:

1. La alta toxicidad que es encontrada requiere de grandes cantidades de aire para diluir.
2. La velocidad y la razón de evolución es usualmente muy alta.
3. Los datos de la cantidad de gases y polvo son muy difíciles de obtener.

La dilución es mas común utilizarla beneficiosamente para el control de vapores de líquidos orgánicos así como también los solventes con baja toxicidad. Para la aplicación correcta es necesario obtener los datos acerca de la cantidad de vapor generada por la fuente de contaminación, que usualmente es obtenida de la planta, cuando llevan un adecuado control de consumos.

### 3.2.1.3 Características de los contaminantes

La zona de encementado es una de las cuales se pretende atacar mediante la dilución de los vapores que emana el cemento utilizado para pintar la llanta, el mismo que como podemos ver más ampliado en el Anexo 2, del cual se extrae la siguiente información relevante:

<b>Nombre Químico:</b>	Solvente para caucho
<b>Componente principal:</b>	Heptano 100%
<b>PEL/TWA (OSHA)</b>	400ppm
<b>TLV (ACGIH) :</b>	400ppm
<b>Punto de Ebullición:</b>	200.0 F (93.3 C) @ 760 mm Hg
<b>Presión de Vapor<sup>8</sup> (mm Hg):</b>	40 mm Hg @ 68.00 F
<b>Densidad del Vapor (aire =1):</b>	3.5 (Estimada)
<b>Gravedad específica (H<sub>2</sub>O=1):</b>	0.696 @ 60.00 F
<b>Densidad del líquido:</b>	0.696 kg/l @ 15.60 C
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles<sup>9</sup> (VOC):</b>	100.00% 696 g/l 5.8 lbs/gal.
<b>Tasa de evaporación:</b>	2.80 (Butyl Acetate = 1)

Velocidad de evaporación	Tasa de evaporación (Bu Ac = 1.0)
Rápida	> 3.0
Media	0.8 a 3.0
Lenta	< 0.8

Tabla 3.2 Clasificación de materiales de acuerdo a la tasa de evaporación

Fuente: [www.ilpi.com](http://www.ilpi.com) MSDS glosario

<b>Punto de congelación:</b>	-132.0 F (-91.1 C)
<b>Peso Molecular:</b>	100.0
<b>Temperatura de auto ignición:</b>	399.0 F (203.8 C)
<b>Límite de explosión mínimo<sup>10</sup> (LEL) :</b>	1.1%

<sup>8</sup> **Presión de Vapor:** Es la presión que ejerce el vapor de un líquido volátil\* sobre el propio líquido una vez alcanzado el equilibrio a una temperatura dada. Una alta presión de vapor provoca que el líquido sea mayormente volátil frente a otros, formando mayor concentración de vapor.

\* **Volátil:** Término empleado para describir un líquido que se evapora o vaporiza con facilidad. Es importante conocer esta circunstancia porque las concentraciones en el aire se pueden acumular rápidamente si se utiliza el material en su forma líquida. Se denominan muy volátiles, los productos cuyo punto de ebullición está por debajo de 65°C ejemplo: éter, cloroformo, acetona, tolueno, etanol entre otros.

<sup>9</sup> **Compuestos Orgánicos Volátiles** Sustancias que se evaporan con facilidad a temperaturas inferiores a su punto de ebullición.

**Límite de explosión máximo ( UEL) :** 6.7%

Por todos los datos suministrados se puede notar que este material es peligroso y fácilmente se evapora a temperatura y presión atmosférica normales, por lo que es de mucha ayuda y además conocer el dato sobre la cantidad de VOC que emite, lo cual es el mayor riesgo al que se exponen los obreros, pero lo más importante es conocer el TLV y TWA lo cual ayudara al diseño gracias a que toda esta información es útil para el cálculo del caudal necesario para controlar la atmósfera de trabajo.

Por otro lado se tiene la emanación de Dióxido de azufre producido por la vulcanización debido a que el azufre es utilizado en la fabricación de los neumáticos ya que el caucho vulcanizado tiene más fuerza, elasticidad y mayor resistencia a los cambios de temperatura que el no vulcanizado; además es impermeable a los gases y resistente a la abrasión, acción química, calor y electricidad, estas emanaciones de óxidos de azufre que son las que han llegado a afectar enormemente a la calidad de aire de la planta. Ver Anexo 1

Las principales propiedades de este contaminante son:

<b>Nombre registrado:</b>	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )
<b>Masa molecular relativa:</b>	64,06 g
<b>Densidad:</b>	1,46 g/cm <sup>3</sup> a -10°C (líq); 2,93 g/l a 20°C (gas)
<b>Densidad relativa del gas:</b>	2,26
<b>Punto de ebullición:</b>	-10°C
<b>Punto de fusión:</b>	-75,5°C
<b>Presión de vapor:</b>	331 kPa a 20°C; 4,62 kPa a 30°C; 842 kPa 50°C;
<b>Umbral de olor:</b>	0,3-1 ppm (en el aire)

---

<sup>10</sup> **Límites de inflamabilidad** Corresponde a las proporciones máximas y mínimas de aire-vapor inflamable (volumen gas/volumen aire), expresada como concentración o porcentaje en volumen, necesaria para que ocurra combustión de una sustancia inflamable.



**Aspecto general:** Gas incoloro, no inflamable, penetrante, con olor a azufre en combustión; en dilución, tiene olor a vinagre, se disuelve fácilmente en alcohol, benceno, acetona, tetracloruro de carbono.

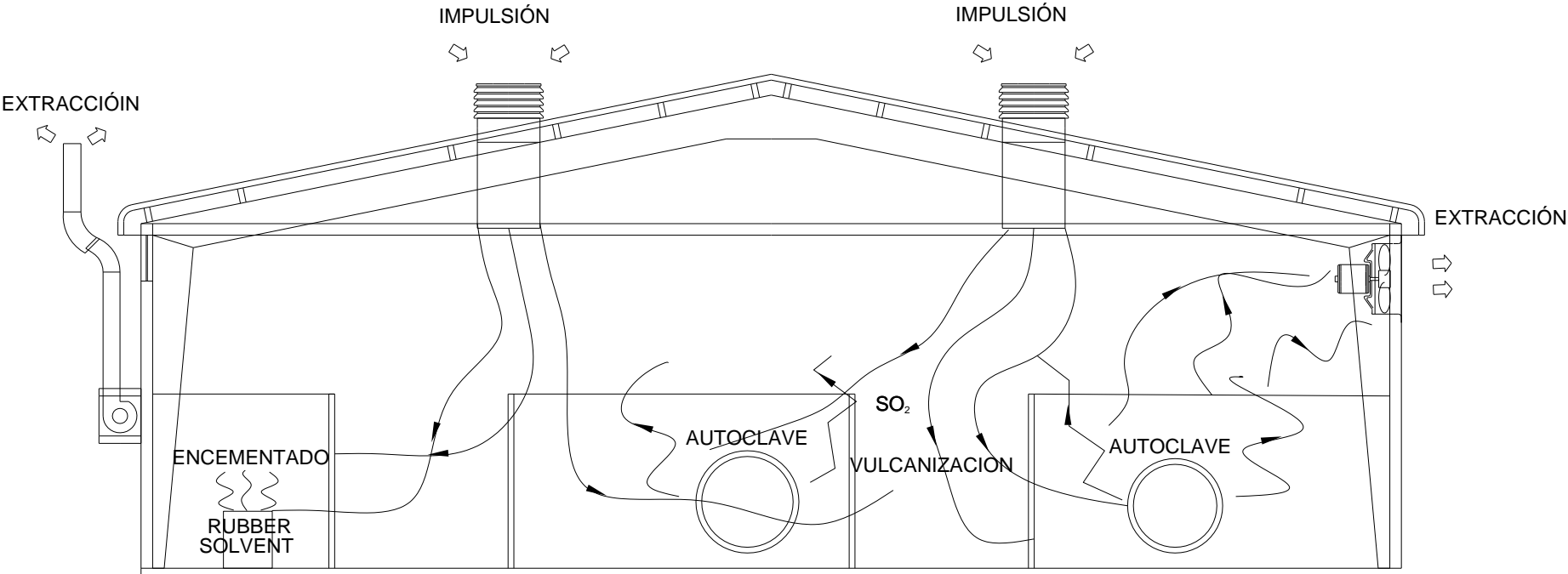
Además a continuación se describen las concentraciones permisibles en el lapso de cierto tiempo y los efectos que se producen por su exposición:

<b>Concentraciones</b>	<b>Efectos sobre la salud</b>
25 mg/m <sup>3</sup> (promedio anual)	Creciente frecuencia de afecciones de las vías respiratorias profundas
225 mg/m <sup>3</sup> (promedio anual)	Creciente frecuencia de síntomas respiratorios; disminución de la función pulmonar.
200mg/m <sup>3</sup> (diario,30min)	Incremento de casos de desórdenes estomacales y gastrointestinales y de daños en la vista.
200 mg/m <sup>3</sup> (valores de 24h)	Aumento de la mortalidad entre personas mayores,
1,3 mg/m <sup>3</sup> (40 min)	Estenosis de las vías respiratorias en asmáticos;
53,3 mg/m <sup>3</sup> (10-30 min)	Fuertes irritaciones, muy desagradables;
133,2 mg/m <sup>3</sup> (60 min)	Intensa irritación de las mucosas, neumorragia y edema pulmonar, riesgo de asfixia

Tabla 3.3: Niveles de Toxicidad del Dióxido de azufre

FUENTE: [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com)

3.2.1.4 Layout del sistema de ventilación por dilución para la planta



ESCALA 1:100

Figura 3.5 Layout del sistema de ventilación por dilución

## **Factores que afectan al diseño en ventilación por dilución**

Las ecuaciones que se utilizan en la ventilación por dilución, deberán ser ajustadas atendiendo a los siguientes factores:

Las ecuaciones matemáticas para el cálculo del flujo de aire necesario para diluir, esta basado en el concepto de que el contaminante es generado con un cierto caudal ( $\text{ft}^3/\text{min}$ ), y así también el sistema de ventilación debe mover el correcto flujo de aire ( $\text{ft}^3/\text{min}$ ), para diluir esta generación de contaminante a un nivel aceptable. Las ecuaciones teóricas asumen que en el área ocurre una mezcla completa, es decir que todo el aire ayuda a diluir el contaminante, antes de que sea respirado por alguien, pero esto no ocurre así en la realidad.

Por estas razones, se introduce un factor "K" que incrementa la cantidad de aire teórica necesaria para diluir los contaminantes y ajustarla para realizar una mezcla completa, este valor tienen un rango de 1 a 10 tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- El sistema de dilución trabaja mejor cuando el suministro de aire y la extracción están localizados de tal manera que la mayor cantidad de aire posible atraviese la zona de contaminación diluyendo los contaminantes antes de que estos lleguen a la zona donde puedan respirar los empleados. Por esta razón el layout del sistema tiene un gran impacto en el valor del factor "K" ANEXO 3 .
- Otro factor que afecta al valor de "K" es la toxicidad del contaminante, por tanto una valor alto garantiza que no se expongan a los trabajadores a límites no permisibles de gases contaminantes. Para tener una referencia se sigue la guía de toxicidad Tabla 3.1 que no es una clasificación sino recomendaciones de aplicación dadas por ACGIH, que se basa en los TLV's asignados a cada sustancia como un indicador de nivel de exposición aceptable.
- Además, el valor de K puede ser afectado por otras circunstancias como los modos de trabajo que podrían atraer al empleado hacia la fuente de emisión, cambios climáticos que influyen en la cantidad de ventilación natural o factores que cambien la concentración de contaminantes en la zona de trabajo.
- Estas ecuaciones producirán el flujo de aire necesario para mantener el nivel de polución precisamente en la "concentración fijada" usando la ecuación para

dilución. Si el límite permitido de exposición de OSHA o el Valor límite de partículas contaminantes de ACGHI, son seleccionados como la “concentración fijada”, la ecuación teórica producirá una cantidad de aire exacta para mantener la polución a ese nivel. De esta manera la concentración fijada debe ser seleccionada de tal manera que las concentraciones deben estar por debajo del nivel de exposición aceptable. <sup>11</sup>

- Si se tiene mas de un contaminante en la aplicación, producen un efecto combinado, mayor al que producen individualmente, y en ausencia de información de la mezcla, el efecto debe ser considerado aditivo.

La cantidad de aire de diseño será tomada de la suma del cálculo de caudal por dilución de cada sustancia por separado.

### 3.2.1.6 Cálculos preliminares

Se debe tomar en cuenta que se trata de realizar una dilución de los dos principales contaminantes de la planta, que es el cemento y el dióxido de azufre, para lo cual primero se procede como se indico en el apartado anterior.

Primero se va a calcular el flujo de aire necesario para mantener el nivel de contaminación del cemento en 400 ppm.

Siguiendo un procedimiento recomendado por la ACGIH se realiza de la siguiente manera:

Rata de flujo de aire para el contaminante tóxico o irritante

Donde: 
$$Q = \frac{F \cdot (gr\ sp)(W)(K) * 1,000,000}{(M)(L)} \quad (3.1)$$

Q = flujo de aire por dilución (ft<sup>3</sup>/min ; m<sup>3</sup>/s)

F = factor de conversión de unidades para el líquido utilizado en un intervalo de tiempo. (Ver Anexo 4)

spgr = gravedad específica del líquido.

<sup>11</sup> Handbook Of Ventilation For Contaminant Control Henry Mc Dermott ACGIH

W = cantidad de líquido usado en un intervalo de tiempo.(gal/h)

M = peso molecular del contaminante.

L = Concentración deseada del contaminante en el área de trabajo (ppm).

K = Factor de seguridad, depende de la efectividad del sistema y la uniformidad de la evolución del contaminante. (Ver Anexo.3)

**Para el cemento:**

$$\begin{aligned} F &= 53.7 \\ Spgr &= 0.696 \\ W &= 1 \\ K &= 6 \\ M &= 100 \\ L &= 400 \end{aligned}$$

**Entonces:**

$$Q = \frac{53.7 \cdot (0.696)(1)(6) * 1,000,000}{(100)(400)}$$

$$Q = 5606 \text{ ft}^3 / \text{min}$$

**Flujo de aire en una ventilación efectiva**

$$Q' = \frac{Q}{K} \tag{3.2}$$

Donde:

Qe = flujo de aire efectivo (ft<sup>3</sup>/min ; m<sup>3</sup>/s)

K = factor que depende de la distribución de aire. Ver Anexo 3

$$Q' = \frac{5606}{6}$$

$$Q' = 934.38 \text{ ft}^3/\text{s}$$

### Rata de generación de vapor

$$G = \frac{F \cdot (gr\ sp)(W)}{(M)} \quad (3.3)$$

Donde:

G = rata de generación de vapor (ft<sup>3</sup>/min; m<sup>3</sup>/s)

$$G = \frac{53.7 \cdot (0.696)(1)}{(100)}$$

$$G = 0.374 \text{ ft}^3/\text{min}$$

### Concentración del contaminante después de cierto tiempo

$$C_t = \frac{G \left[ 1 - e^{\left( \frac{-Q't}{V_r} \right)} \right] \times 1,000,000}{Q'} \quad (3.4)$$

Donde:

C<sub>t</sub> = concentración del contaminante en un lapso de tiempo (ppm)

t = tiempo (minutos)

V<sub>r</sub> = volumen del cuarto (ft<sup>3</sup>)

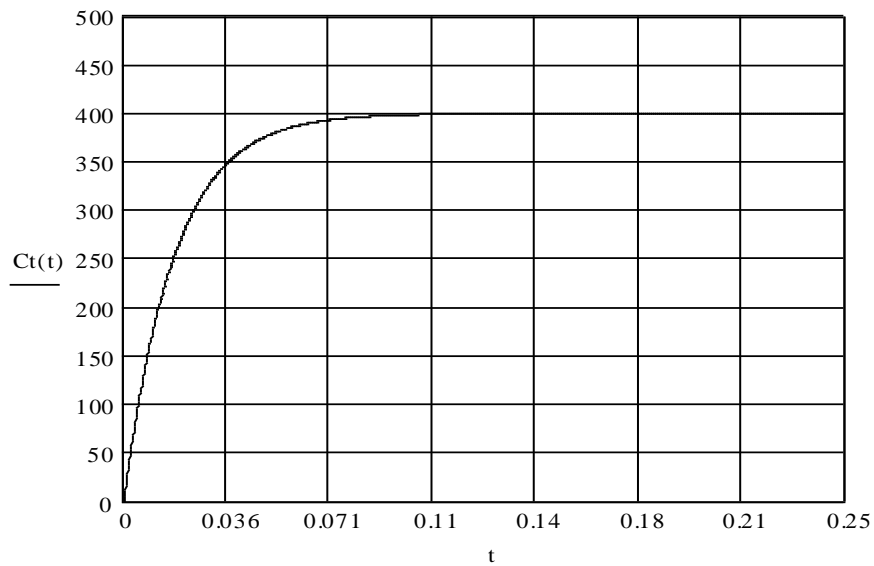
En este caso específico sería el volumen de la cámara de cemento y el área de vulcanización que esta directamente expuesta ya que la cámara no es sellada.

Las dimensiones de la cámara son: Frente 2.7, profundidad 2.45 y alto 2.45 metros

$$\text{Cámara de Cemento } V_r = 2.7 \times 2.45 \times 2.45 = 16.2 \text{ m}^3$$

$$\text{Transformando a ft}^3 \quad V_r = 571.65 \text{ ft}^3$$

Para una variación de concentración en función del tiempo:



**Concentración en un tiempo t después que el proceso ha cesado**

**Gráfica 3.1 Concentración del contaminante (ppm) vs. Tiempo (min).**

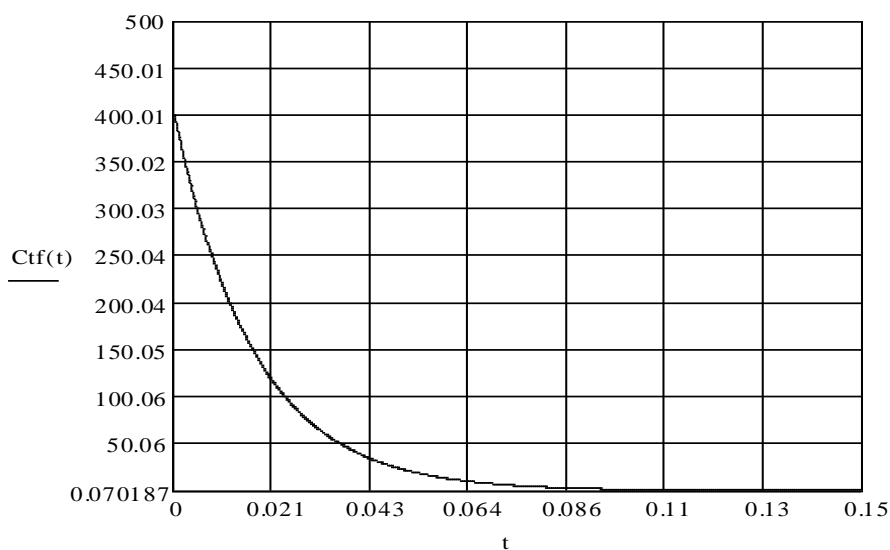
**Concentración en un tiempo t después que el proceso ha cesado**

$$C_{tf}(t) := 75 \cdot \left( e^{\frac{-Qe \cdot t}{V_r}} \right) \quad (3.5)$$

Donde:

C<sub>tf</sub> = Concentración después de un tiempo en que ha cesado el proceso





Gráfica 3.2 Concentración del contaminante vs tiempo, una vez terminado el proceso.

De las gráficas 3.1 y 3.2 se puede notar que la dispersión de los gases contaminantes se produce en menos de un minuto, esto se debe a que el tamaño de la cámara de cemento es pequeño.

Ahora para el problema del dióxido de azufre se sigue el siguiente procedimiento conocido como de "Gases Trazadores" para calcular el caudal por dilución necesario para mantener en el nivel de contaminante en 350 (mg/m<sup>3</sup>) o 0.133ppm.

Caudal para diluir el contaminante:

$$Q_{dil} = A \left( \frac{\text{Renovaciones de aire}}{\text{hora}} \right) \times Vr \left( \frac{\text{ft}^3}{\text{Renovaciones de aire}} \right) \times \frac{\text{hora}}{60 \text{ min}} \quad (3.6)$$

Q = flujo de aire por dilución (ft<sup>3</sup>/min ; m<sup>3</sup>/s)

Vr= volumen del cuarto contaminado (ft<sup>3</sup>/cambios aire; para igualar unidades)

A = Rata de cambios o renovaciones de aire por hora

$$A = \frac{1}{\Delta t} (\ln C_o - \ln C_f) \quad (3.7)$$

C<sub>o</sub>= Concentración del contaminante al comienzo de la prueba, (ppm)

C<sub>f</sub>= Concentración del contaminante al final de la prueba (norma) (ppm)

Δt= tiempo que toma bajar la concentración a niveles deseados, horas

En la condición de la planta la media de concentración del SO<sub>2</sub> es de 2664

(mg/m<sup>3</sup>) o 1.016ppm

Además como se pudo apreciar en la tabla 3.4: Niveles de Toxicidad del Dióxido de azufre se puede exponer máximo a 30 minutos con una concentración similar.

Entonces:

$$A = \frac{1}{0.5} (\ln 1.016 - \ln 0.133)$$

$$A = 4.067 \text{ renovaciones/hora}$$

Las dimensiones de la zona de vulcanización son 16.1x12.0x8.50 m entonces el volumen es:

$$V_r = 1642 \text{ m}^3 \text{ o } 57950 \text{ ft}^3$$

$$Q_{dil} = 4.067 \left( \frac{\text{cambiosaire}}{\text{hora}} \right) \times 57950 \left( \frac{\text{ft}^3}{\text{cambiosaire}} \right) \times \frac{\text{hora}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_{dil} = 3928 \text{ ft}^3 / \text{min}$$

De esta manera se tiene establecido el caudal en las áreas donde se va a tratar el caso con ventilación por dilución, con lo cual se procederá a seleccionar los elementos y equipos necesarios para el sistema.

### **3.3 Sistemas de ventilación local para las áreas de Raspado y Preparación**

#### **3.3.1 Introducción**

En esta forma de ventilación el aire contaminado es captado en el mismo lugar que se produce evitando su difusión por todo el local. Se logra a base de una campana que abrace lo más estrechamente posible el foco de polución y que conduzca directamente al exterior el aire captado.

Con este sistema de ventilación se concentra la extracción en un solo punto del edificio y por medios mecánicos, extractor/ventilador, se logra controlar el caudal de aire. Una red de conductos y accesorios de aspiración, expulsión, transmisión

de aire, aseguran una distribución uniforme y un barrido eficaz de los contaminantes.

Debido a que en las áreas de preparación y raspado se produce el desbaste del caucho y en consecuencia son los focos de emanación de material particulado, y gases producto del calentamiento que sufre el caucho, cuyos valores de concentración se los analizó en el capítulo anterior y además se los encuentra mas detallado en el Anexo 1, este tipo de contaminante debe ser tratado mediante ventilación localizada en el punto de emanación mediante campanas de extracción y captadores que atrapen el contaminante antes de que se esparza por los lugares de trabajo.

### **3.3.2 Características de los contaminantes**

Los contaminantes que se van a atacar en estas zonas son el material particulado y el dióxido de azufre (detallado anteriormente) que es emanado por el calentamiento que sufre el neumático en el momento de ser pulido.

El polvillo de caucho así llamado por los trabajadores del reencauche es producido por la necesidad de pulir la llanta primero para tener uniformidad y luego para abrir surcos en donde existen agujeros que pueden llenarse de aire en el momento de la vulcanización lo que provoca una falla en la calidad del producto.

Esencialmente el contaminante que fue monitoreado por la inspección de calidad de aire son partículas de caucho de neumático PM10 (cuya descripción de dio en el capítulo anterior) y estas entran entre los contaminantes en suspensión, y deben ser controladas mediante el flujo de aire que las transportan, lo cual no cumplen los granos de 0.7 a 10 mm, pero deben ser desalojados de las zonas de trabajo ya que los sistemas no están bien diseñados y se trabajará también en mejorarlos, porque de no ser desalojados se convierten en un gran problema si grandes cantidades de polvillo se producen.

### 3.3.3 Layout del sistema de extracción para cada área

#### 3.3.3.1 Raspado

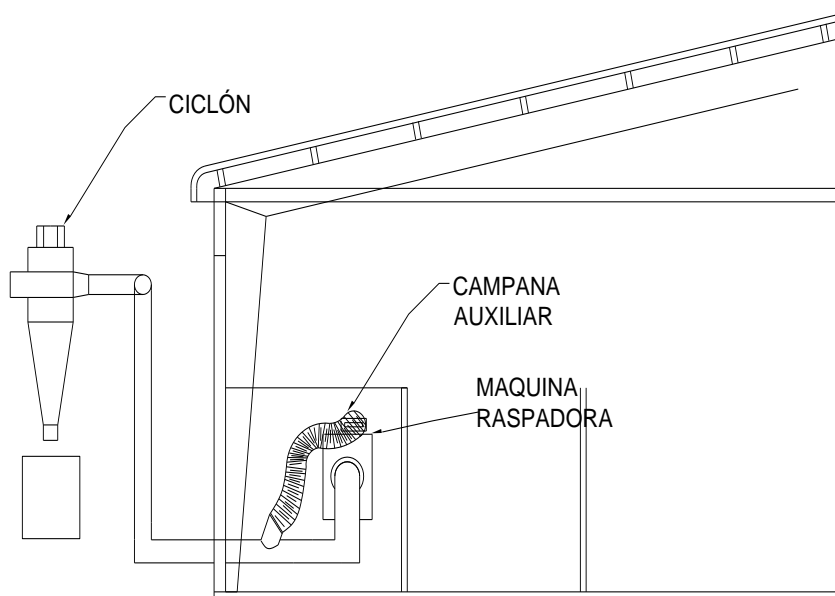
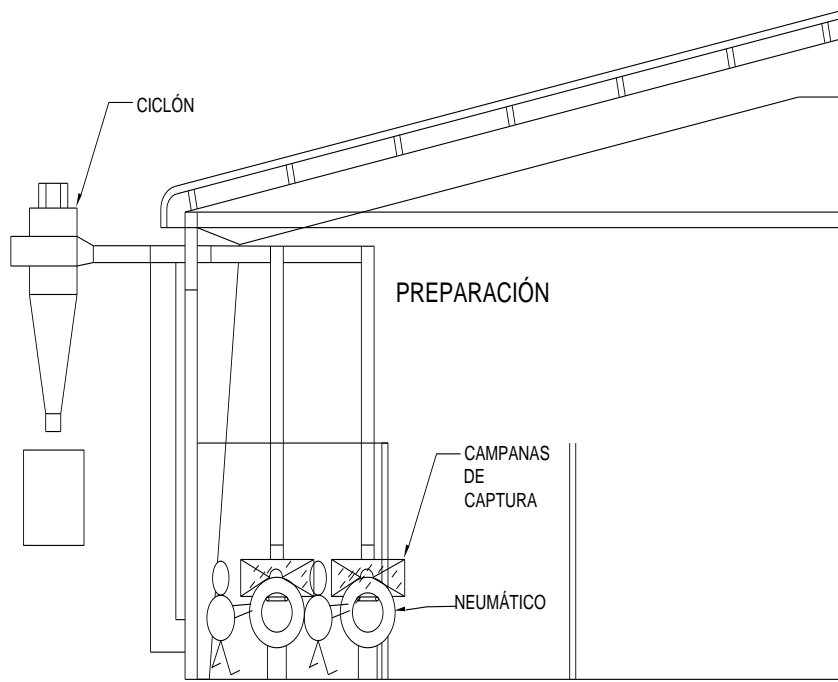


Figura 3.6 Layout del sistema de ventilación para la zona de raspado

### 3.3.3.2 Preparación



ESCALA 1:100

Figura 3.7 Layout del sistema de ventilación para la zona de preparación

### 3.3.4 Consideraciones para el diseño

Primero se debe atender a los factores que afectan el buen desempeño de las campanas los cuales son:

- Minimizar las corrientes externas del aire que podrían dispersar los contaminantes, o si no se las puede eliminar se debe desviar la corriente mediante paneles que la obstruyan.
- Eliminar las fuerzas dispersivas que provoca la maquina o el proceso lo cual ayuda a propagar el contaminante, como por ejemplo los equipos que utilizan aire comprimido, tambores pulidores y hasta la excesiva vibración.

Luego de haber controlado estos problemas se prosigue con el proyecto de una Campana de Captación o Extracción el cual debe resolver dos cuestiones principales:

#### a.- Velocidad de captación (o de arrastre) ( $V_a$ ):

Es la velocidad del aire en la boca de una campana o cabina necesaria para vencer las corrientes contrarias y recoger (arrastrar) aire, gases, polvo o humo, obligándoles a entrar en las mismas.

Dispersión del Contaminante	Ejemplos	V Capt (ft/min.)
Liberado prácticamente sin velocidad en aire calmado	Evaporaciones de tanques	50-100
Liberado con baja velocidad en aire moderadamente tranquilo	Cabinas de Spray, limado soldadura, plateado	100-200
Generación activa en zonas de movimiento rápido de aire	Pintado, estrujado	200-500
Liberado con alta velocidad en zona de movimiento muy rápido de aire	Desbastado, corte de material abrasivo, esmeril	500-2000

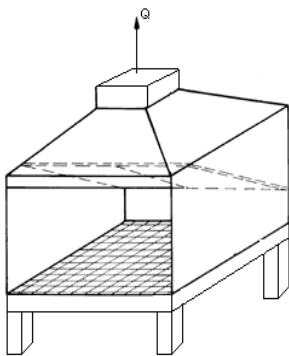
Tabla 3.4 Rango para velocidades de captación (solo como recomendación)

FUENTE: INDUSTRIAL VENTILATION ACGIH 24<sup>o</sup> ED. 2001

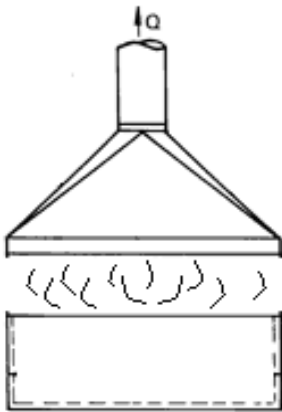
## b.- Distribución:

Se refiere a la forma que tiene o el tipo de campana, para que los gases contaminantes sea atrapados suficientemente y evitar la exposición de los trabajadores, además afecta al caudal que se va a tener en la campana, ya que dependiendo del tipo de campana y su ubicación frente a la fuente de contaminación que se utilice tendremos una formula particular de cada caso, como recomendación en el Manual De Ventilación Industrial de la ACGIH (ANEXO 5).

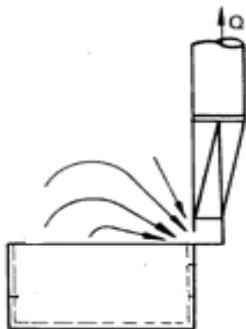
Tres son los tipos más comunes, utilizadas para distintos trabajos:



**Campanas tipo recinto:** encierran la fuente contaminante lo mas que se puede. El contaminante queda atrapado en su interior, son utilizadas cuando no se necesita trabajar en la fuente cuando el contaminante esta siendo generado. El diseño debe distribuir el aire en el interior del espacio para prevenir explosiones o que se inflamen los vapores. Se manejan flujos de aire muy bajos.



**Campanas de recepción:** Existen procesos que emiten un flujo de contaminante en un dirección específica donde la clave está en saber posicionar la campana. Estas campanas son poco usadas cuando se trata de protección a la salud debido a que muchos procesos emiten gases que no poseen la suficiente velocidad para acarrear el contaminante hacia la campana. El flujo de aire depende del volumen de contaminante que se produce.



**Campanas captadoras:** Son diseñadas de tal forma que el flujo de aire en el interior de la campana es calculado para generar la suficiente velocidad de captura en el espacio de aire frente de la misma. Tiene como ventaja que se la puede colocar en el lugar más cómodo para los operadores, caso que no se puede lograr con las otras campanas, pero estas campanas manejan flujos muy altos.

Como consideraciones especiales se deben atender:

- El caudal de captación varía aproximadamente con el cuadrado de la distancia, o sea que si la campana está a una distancia  $L$  del foco, y un caudal  $Q$  para captarlo, si se aleja a una distancia  $2L$  el caudal necesario será  $4Q$ .
- Cuando se trate de gases nocivos la campana debe colocarse de modo que se evacue fuera del espacio de respiración de los operarios.

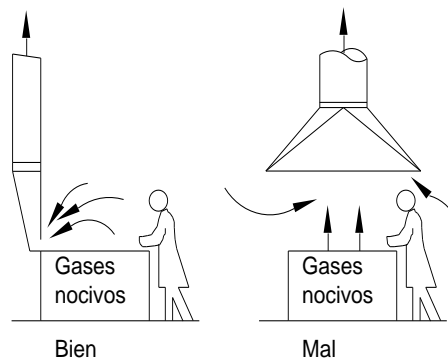


Figura 3.8. Ejemplo evacuación de gases nocivos

Fuente: Ventilación Industrial. Cálculo y aplicaciones E.Carnicer

- La campana, o caperuza, que envuelva una máquina debe diseñarse para que las partículas a captar incidan dentro de su boca.

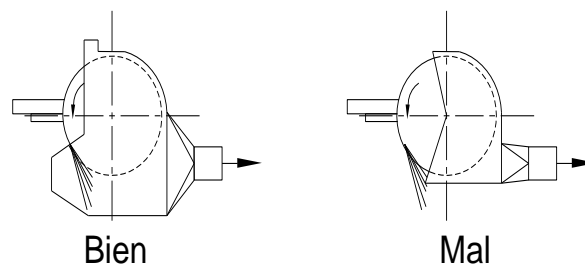


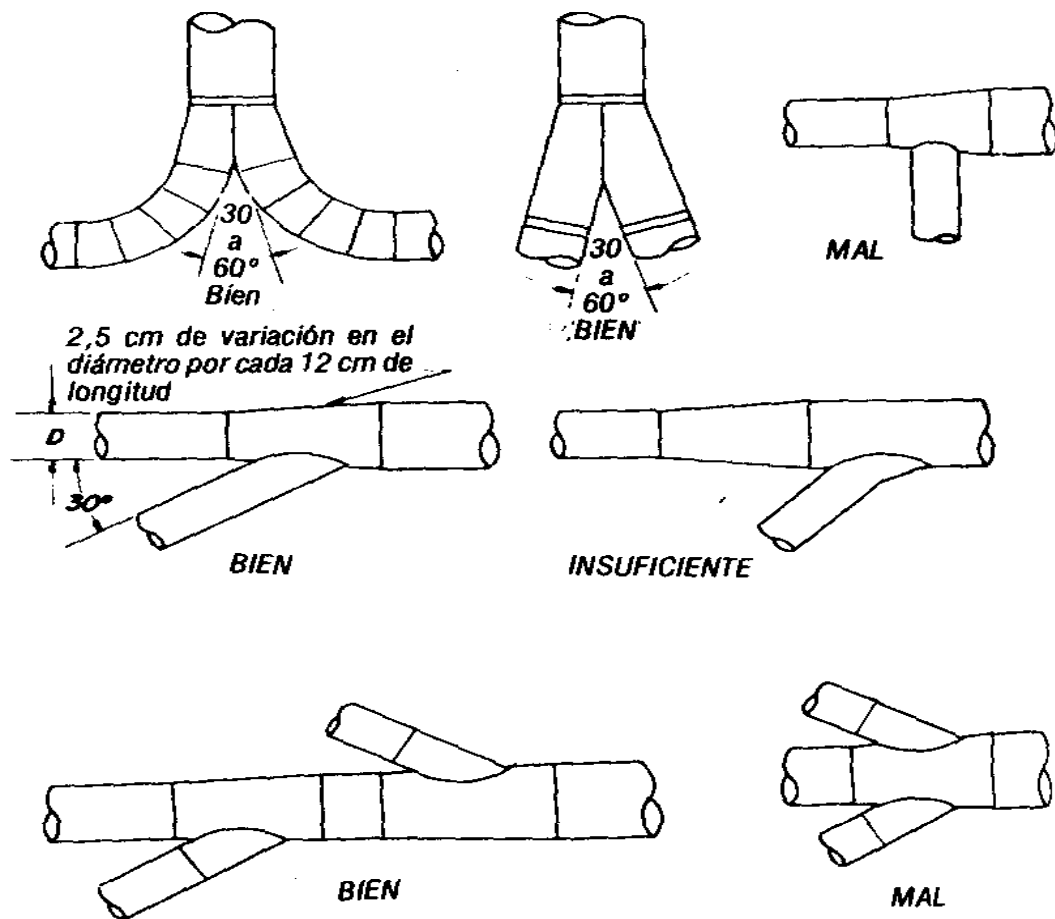
Figura 3.9. Diseño campanas tipo caperuza

Fuente: Henry J. McDermontt. Handbook of Ventilation for Contaminant Control

## Conductos



De nada sirve que este bien diseñada una campana si por ella no circulan los volúmenes adecuados de aire. Para esto se requiere conductos bien diseñados y ventiladores seleccionados de manera adecuada debido a que el flujo del aire por tal conducto absorbe energía del ventilador que lo impulsa/extrae debido al roce con las paredes, los cambios de dirección o de sección y los obstáculos que se hallan a su paso. La rentabilidad de una instalación exige que se minimice esta parte de energía consumida, con este motivo se debe tomar estas recomendaciones:



**Figura 3.10 Principios del diseño de conductos.**  
**Fuente: Accident Prevention Manual for industrial Operations**

Las bifurcaciones deberían conectarse gradualmente con un ángulo de 30 grados, o inferior, o hasta 45 grados, si resulta necesario (figura 3.9). Las bifurcaciones no deberían entrar directamente opuestas una a otra.

Si la sección del conducto no es circular, caso frecuente en instalaciones de ventilación en donde se presentan formas rectangulares o cuadradas, es necesario determinar antes la sección circular equivalente, esto es, aquella que presenta la misma pérdida de carga que la rectangular considerada para lo cual el diámetro equivalente puede calcularse por la fórmula de Huebscher<sup>12</sup>:

$$d_e = 1,3 \frac{(ab)^{5/8}}{(a+b)^{1/4}}$$

Siendo  $d_e$  : Diámetro equivalente ( 3.8)

a,b: Dimensiones del rectángulo o cuadrado

Pero esta ecuación es muy trabajosa por sus índices por lo que se utilizan nomogramas que agilitan la transformación.

**Filtros de aire** : Son dispositivos diseñados para disminuir la concentración de las partículas que se encuentran en suspensión en el aire. El tipo de filtro a emplear dependerá del tamaño de las partículas a separar:

---

<sup>12</sup> Industrial Ventilation Manual. 23va ed. ACGIH

TAMAÑO DE PARTÍCULAS DE POLVO Y DE LOS AEROSOL	VAPORES																																							
	POLUCION ATMOSFERICA PERMANENTE										POLVO NORMAL										POLVO INDS. GRUESO																			
	VIRUS		BACTERIAS										POLEN																											
	HUMOS O VAPORES GRASIENTOS										NIEBLA										LLUVIA										GOTAS									
	HJUMO DE TABACO										CENIZAS VOLANTES																													
	MACRO MOLECULAS		NIEBLA DE ACEITE										HOLLIN										ARENA																	
	AEROSOL		POLVO																																					
	COMPORTAMIENTO PARECIDO A LAS MOLECULAS DE GAS										POLVO DECANACION DE LAS PARTICULAS A VELOCIDAD CONSTANTE																													
	VISIBLE CON MICROSCOPIO ESPECIAL										VISIBLE CON MICROSCOPIO										VISIBLE A SIMPLE VISTA																			
	CAMPO DE APLICACIÓN DE FILTROS USUALES																					SEPARADORES POR GRAVEDAD																		
																				CICLON																				
																				SEPARADORES POR FUERZAS DE INERCIA																				
																				SEPARADORES HUMEDOS																				
FILTRO DE CARBON ACTIVO		FILTRO ABSOLUTO										FILTRO FINO										FILTRO GRUESO																		
																				FILTRO NORMAL																				
																				FILTROS HUMEDOS																				
										FILTRO DE FIBRAS FINAS ALTO RENDIMIENTO										FILTRO DE CAPAS SECAS RENDIMIENTO MEDIO																				
										FILTRO DE PAPEL										LAVADOR DE AIRE																				
										FILTRO ELECTROSTATICO										FILTRO DE IMPREGNACION VISCOSA																				
		0		0.1		1		10		100		1000																												

Tabla 3.5 Tipos de filtros de acuerdo al diámetro de partículas (mm)

Fuente: [www.soler-palau.com](http://www.soler-palau.com) Ventiladores Soler Palau

## VENTILADORES

**Los ventiladores son del tipo de flujo axial o centrífugo. La selección y tamaño adecuados son importantes si hay que instalar un sistema eficaz, que requiera poco mantenimiento.**

Los ventiladores centrífugos son los que se usan más frecuentemente en la industria. Si las pruebas en condiciones reales muestran que no suministran el volumen de aire estimado, se debe recordar que los cuadros de clasificación fueron realizados a partir de pruebas hechas en condiciones ideales, con conductos rectos de diferentes tamaños instalados en la entrada y la salida.

Según sea el ventilador, tipo y tamaño, existe una zona de su curva característica en la que es recomendable su uso. Fuera de ella pueden producirse fenómenos que hacen aumentar desproporcionadamente el consumo hundiendo el rendimiento, provocando un aumento intolerable del ruido e incluso produciendo flujos intermitentes de aire en sentido inverso.

En los catálogos de ventiladores vienen indicadas las zonas de la curva característica recomendadas de uso o, simplemente, solo se publica el tramo de curva en el que es aceptable su funcionamiento.<sup>13</sup>.

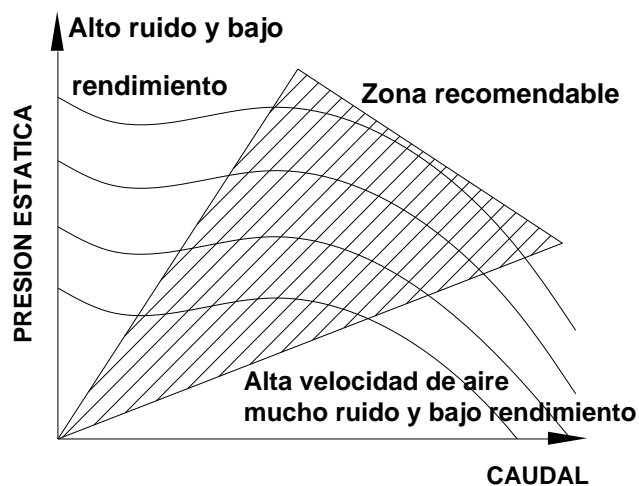


Figura 3.12. Curva característica de un ventilador

<sup>13</sup>Fundamentos de Ventilación Industrial V.V. Baturin Ed Labor, S.A.

## CAPÍTULO 4

### DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN

#### 4.1 Sistema de Ventilación por Dilución de Gases Contaminantes

##### 4.1.1 Parámetros de diseño

En el capítulo anterior se trató el tema de la ventilación por dilución en el cual se calculó el caudal que sería necesario tanto para el área de cementado como para el de vulcanización, además se trabajará con acero galvanizado en todas las tuberías y demás componentes del diseño con esto logramos reducir pérdidas de presión por fricción y evitar la corrosión, la tabla 4.1 expone los parámetros que serán útiles para el diseño.

<b>Zona de trabajo</b>	<b>Caudal de aire</b>		<b>Dimensiones de la zona (pies)</b>	<b>Personal en el área</b>
	<b>Extracción (pies<sup>3</sup>/min)</b>	<b>Infiltración (pies<sup>3</sup>/min)</b>		
<i>Encementado</i>	5606	2794	8.72 x 8 x 8	2
<i>Vulcanización, Embandado y relleno</i>	3928		52.82 x 39.37 x 27.88	7

Tabla 4.1 Parámetros de diseño para la zona de encementado y vulcanización.

El caudal de aire que se debe impulsar dentro del local se calcula sumando los caudales de aire de extracción que son los del área de encementado 5606 ft<sup>3</sup>/min y de vulcanización 3928 ft<sup>3</sup>/min y restando el caudal por infiltración 2794 ft<sup>3</sup>/min es decir:

$$Q_{im} = Q_{Extracción} - Q_{Infiltración} \quad (4.1)$$

$$Q_{im} = 5606 + 3928 - 2794$$

$$Q_{im} = 6740 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Al cual se debe aumentar un 10% para mantener el local en sobrepresión y obligar a evacuar cualquier aire contaminado residual

$$Q_{im} = 6740 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Además del esquema propuesto se desprende:

<b>Área de trabajo</b>	<b>Chimenea (pies)</b>	<b>Ductos (pies)</b>	<b>Codos</b>			
			<b>piezas</b>	<b>R/D</b>	<b>Ángulo</b>	<b>Cant.</b>
<i>Encementado</i>	19.8	1.64	3	1	45	2

Tabla 4.2 Parámetros de diseño de tuberías

De las características de los contaminantes se puede apreciar que no presentan cualidades de ser agentes ácidos o corrosivos, que puedan dañar los metales, pero por protección de los ductos se utilizara material galvanizado, además los parámetros que se seleccionen como velocidad y caudal son suficientes para vencer cualquier tipo de resistencia inercial o por efectos de la gravedad especifica de los gases.

Pero con el objeto de evitar corrientes estáticas que podrían originar posibles incendios debido al transporte de gases volátiles los ductos deben ser conectados a tierra con cable #2 AWG desnudo y varilla de cobre.

Se utilizará un ventilador centrífugo para la extracción de contaminantes en la cabina de encementado utilizando además una sección de filtrado que consta de dos etapas un prefiltro mediante filtros lavables ( Pérdidas de 0.22 pulg H<sub>2</sub>O) y el filtro de carbón activo para eliminar los compuestos orgánicos volátiles (VOC) que contiene el solvente, y evitar la contaminación de la atmósfera debido a los gases extraídos(pérdidas de 0.55 pulg H<sub>2</sub>O) ; más información sobre las características de los filtros se encuentra en el Anexo 8.

En la zona de vulcanización se colocarán dos ventiladores para la inyección de aire fresco que serán ubicados en la cubierta del galpón y dos ventiladores axiales de pared.

Para la cabina se utilizará una disposición de campana envolvente con rendijas (slots) en la pared que ayuda a distribuir el aire a través de toda la cabina y la extracción se realiza atravesando la pared, el diseño de la cabina se presenta a continuación:

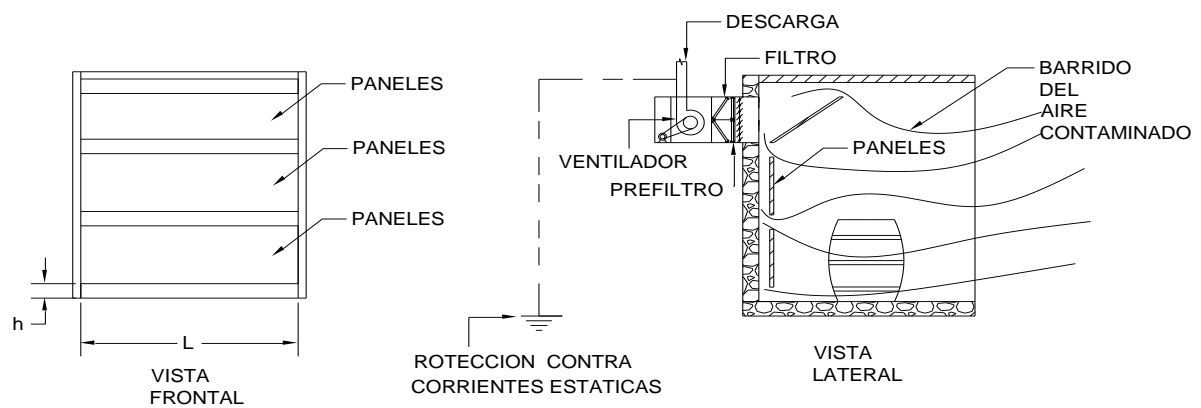


Figura 4.1 Diseño del sistema de ventilación para la cabina de encementado  
 Fuente: Handbook of Ventilation for Contaminant Control, Henry McDermott

El caudal de extracción es:

$$Q = 5606 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Entonces conociendo que la para este tipo de cabina la velocidad de captura recomendada es  $V_{cap} = 250 \text{ fpm}$ , el área de las entradas de aire es:

$$A_o = \frac{Q}{V_{cap}} \quad (4.2)$$

Donde:

$V_{cap}$  = velocidad de captura

$A_o$  = área de entrada del aire

Entonces:

$$A_o = 22.425 \text{ ft}^2$$

Debido a que se ubicarán cuatro slots con una longitud de 2.66 metros, entonces la altura (h) se calcula de la siguiente manera:

$$L = 2.66 \text{ m } \hat{=} 8.724 \text{ ft}$$

$$h = \frac{A_o}{4 * L} \quad (4.3)$$

$$h = 0.642\text{ft} \quad \text{ò} \quad 19.5 \text{ cm}$$

Además la velocidad en cada rendija o slot corresponde a:

$$V_{slot} = \frac{Q}{A_{slot}} \quad (4.4)$$

$$A_{slot} = A_o / 4$$

$$V_{slot} = 1000 \text{ fpm}$$

#### 4.1.2 Diseño de ductos y Chimeneas de descarga

Máxima área del ducto, A (ft<sup>2</sup>)

$$A := \frac{Q}{V}$$

V = velocidad en el ducto (ft/min)

Q = caudal de aire de extracción (ft<sup>3</sup>/min)

$$Q = 5606 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$V = 2500 \text{ fpm}$$

$$\text{Entonces } A = 2.24 \text{ ft}$$

Luego para calcular el diametro del ducto :

$$D := 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (4.5)$$

$$D = 1.68 \text{ ft} \quad \text{ó} \quad 20.27 \text{ pulg}$$



### Corrección del Área del ducto, A (ft<sup>2</sup>)

Debido a que se utilizan medidas sin decimales en los ductos D= 20 pulg Si se deseara tubo rectangular su equivalente sería: 20 x 17pulg

$$A := \pi \left( \frac{D \cdot 0.08333}{2} \right)^2 \quad (4.6)$$

$$A = 2.18 \text{ ft}^2$$

### Velocidad actual en el ducto, V (ft/min)

$$V := \frac{Q}{A}$$

$$V = 2570 \text{ ft/min}$$

### Chimenea de descarga

$$Q = 5606 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$V = 2600 \text{ fpm}$$

$$A := \frac{Q}{V}$$

$$A = 2.156 \text{ ft}$$

$$D := 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$D = 1.657 \text{ ft} \quad \text{ò} \quad 19.88 \quad \text{pulg}$$

Corrigiendo a 19 pulg, entonces se debe calcular su nueva velocidad.

Si se deseara tubo rectangular su equivalente sería: 19x16pulg

$$D = 19 \text{ pulg}$$

$$V := \frac{Q}{\left[ \pi \left( \frac{D \cdot 0.08333}{2} \right)^2 \right]}$$

$$V = 2849 \text{ fpm}$$

#### 4.1.2.1 Cálculo de pérdidas en Ductos

##### Pérdidas en la cabina

Para este tipo de campana las pérdidas se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$he = 1.78VP_{slot} + 0.25 VP_d \quad (4.7)$$

Donde:

he: Pérdidas en la entrada de la campana

VP<sub>slot</sub>: Presión dinámica en la rendija

VP<sub>d</sub>: Presión dinámica en el ducto

##### Presión dinámica en el ducto VP<sub>d</sub> (pulg H<sub>2</sub>O)

$$VP_d := \left( \frac{V_d}{4005} \right)^2 \quad (4.8)$$

La velocidad en el ducto es V<sub>d</sub> = 2570 fpm

$$VP_d = 0.411 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

##### Presión dinámica del Slot, VP<sub>slot</sub> (pulg H<sub>2</sub>O)

$$VP_{slot} := \left( \frac{V_{slot}}{4005} \right)^2 \quad (4.9)$$

$$VP_{slot} = 0.062 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

$$he = 1.78VP_{slot} + 0.25 VP_d$$

$$he = 0.214 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

Presión estática en campana(SPh):

$$SPh := he + VP_d \quad (4.10)$$

$$SPh = 0.625 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

### Pérdida por fricción en el ducto, Ld (pulg H<sub>2</sub>O)

$$Ld := LTdHf \cdot VPc \quad (4.11)$$

LTd = Longitud total del ducto, (ft)

Hf = Factor de pérdida por fricción, (VPd/ft)

Para tubería de metal galvanizado este factor se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Hf^{(galvanizado)} = 0.0307 * \left( \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}} \right) \quad (4.12)$$

Donde: V es la velocidad en el ducto

Q el caudal correspondiente

$$Hf = 0.0103 \text{ VP/ft}$$

$$LTd = 1.64 \text{ ft}$$

$$Ld = 0.007 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

#### 4.1.2.2 Cálculo de pérdidas en Chimeneas

Presión dinámica de la chimenea VPc (pulg H<sub>2</sub>O)

$$VPc := \left( \frac{Vc}{4005} \right)^2$$

Vc: Velocidad en la chimenea (2600 ft/min)

$$VPc = 0.506 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

Pérdidas por fricción en la chimenea Lc (pulg H<sub>2</sub>O)

$$Lc = Ltc * Hf * VPc$$

Ltc = Longitud total del chimenea, (ft)

Hf = Factor de pérdida por fricción, (VPd/ft) ec. 4.12

$$L_{tc} = 19.8 \text{ ft}$$

$$H_f = 0.0108 \text{ VP/ft}$$

$$L_c = 0.12 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

### **Pérdida en los codos, $L_{codo}$ (pulg $H_2O$ )**

$$L_{codo} = N_{codo} * LC * VP_c \quad (4.13)$$

LC = Coeficiente de pérdida en los codos (Anexo 6)

$N_{codo}$  = Número de codos

Se tienen 2 codos de  $45^\circ$  lo que se hará equivalencia a uno de  $90^\circ$  de 5 piezas

$$LC = 0.33$$

$N_{codo}$  = Número de codos

$$L_{codo} = 0.17 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

### **Pérdida total en la chimenea, $L_{Tc}$ (in $H_2O$ )**

$$L_{Tc} = L_c + L_{elbow}$$

$$L_{Tc} = 0.3 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

Estas pérdidas se convierten en la presión estática de salida ( $SP_{out}$ )

### 4.1.3 Cálculo y selección de ventiladores para Extracción e Impulsión

Para la selección del ventilador se necesitan conocer los siguientes aspectos:

El caudal, la presión estática, el nivel de ruido y el modelo de ventilador.

La presión estática del ventilador FSP se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$FSP = |SPin| + |SPout| - VPin \quad (4.14)$$

Donde:

SPin: Valor absoluto de la presión estática necesaria para cubrir las necesidades del sistema que esta antes de ingresar al ventilador (representa todas las pérdidas en el sistema antes del ventilador).

SPout: Valor absoluto de la presión estática en la descarga del ventilador (representa todas las pérdidas en el sistema después del ventilador).

VPin: La presión dinámica en el ingreso del ventilador ingreso

Entonces  $SPin = SPh + Ld + \text{Pérdidas por filtros} \quad (4.15)$

$$SPin = 0.625 + 0.007 + 0.77 = 2.002 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

$$Spout = LTc = 0.3 \text{ pulg H}_2\text{O} \quad (4.16)$$

$$FSP = 2.002 + 0.3 - 0.411 = 1.29 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

Como precaución de toma un factor de seguridad del 20 % entonces la presión estática con la cual se seleccionará el ventilador es **1.55 pulg H<sub>2</sub>O**.

El caudal a extraer es de **5606 (ft<sup>3</sup>/min)**

Los ventiladores se seleccionaran del catalogo de la empresa GreenHeck el ventilador que se adapta a estas condiciones es uno del tipo BSQ ventilador centrifugo que sirve para limpieza de aire y manejar partículas livianas.



Model	Volume (CFM)	FRPM	Tip Speed (ft./min)	OV (ft./min)	Operating Power (hp.)	Motor Size (hp.)	Weight (lb.)	IV Torq. (in.-lb.)
BSQ-240	5,600	1,102	7,068.0	668.0	2.5	3	320	
<b>BSQ-240HP</b>	<b>5,600</b>	<b>1,236</b>	<b>7,928.0</b>	<b>668.0</b>	<b>2.52</b>	<b>3</b>	<b>320</b>	
BSQ-300HP	5,600	929	7,418.0	463.0	2.47	3	420	
BSQ-360HP	5,600	771	7,267.0	354.0	2.9	5	600	

Model	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lwa	dBA	Sones
BSQ-240	87	82	87	79	79	74	70	66	83	72	21
<b>BSQ-240HP</b>	<b>85</b>	<b>85</b>	<b>87</b>	<b>81</b>	<b>77</b>	<b>75</b>	<b>72</b>	<b>68</b>	<b>84</b>	<b>73</b>	<b>22</b>
BSQ-300HP	87	88	90	77	76	75	74	69	84	73	24
BSQ-360HP	86	88	83	77	76	72	71	67	81	70	20

Figura 4.2 Ficha técnica del ventilador BSQ 240HP.

Fuente: Programa CAPS, (Ventiladores GREENHECK)

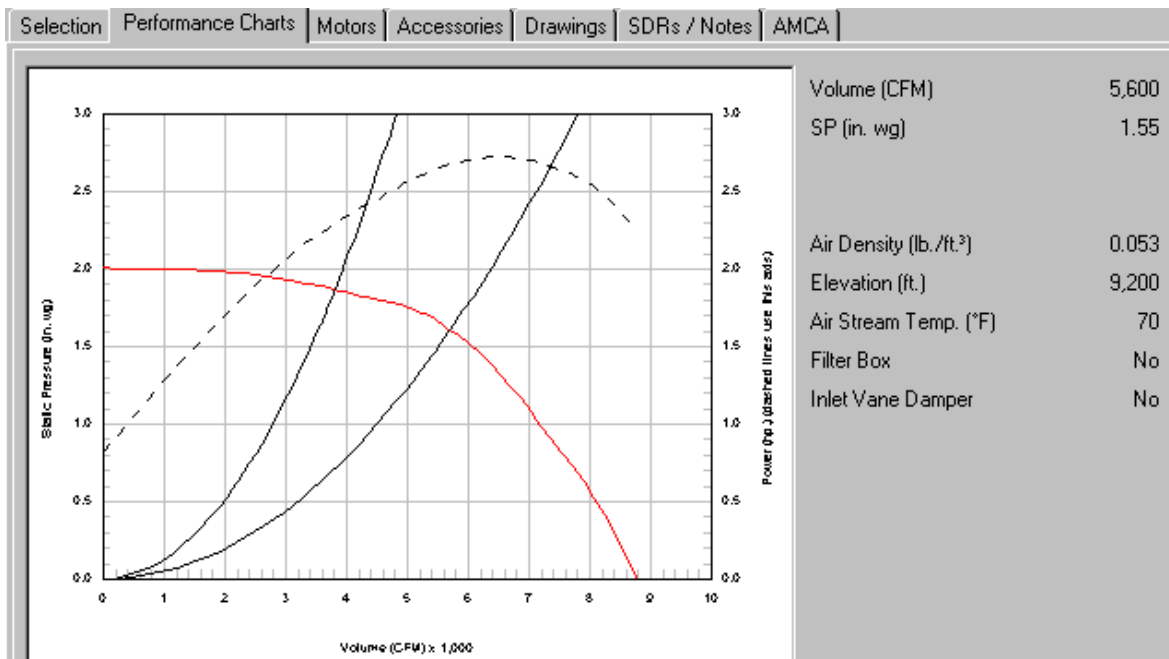
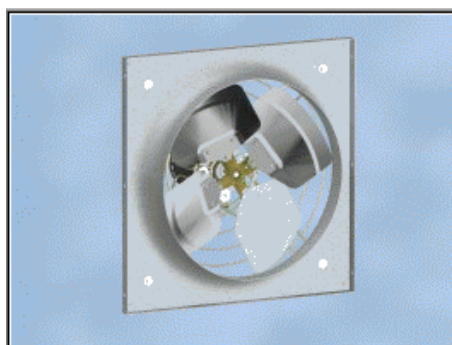


Figura 4.3 Curva de desempeño del ventilador BSQ 240HP.

Fuente: Programa CAPS, (Ventiladores GREENHECK)

Se utilizarán dos extractores de pared en la zona de vulcanizado el cual deberán poseer un caudal de 2000 (ft<sup>3</sup>/min) cada uno se les acondicionará una cámara de filtrado con igual principio que se utilizó anteriormente en encementado con una caída de presión es de 0.77 pulg H<sub>2</sub>O entonces el FSP del ventilador es 0.77pulg H<sub>2</sub>O



Model	Volume (CFM)	FRPM	Tip Speed (ft./min)	DV (ft./min)	Operating Power (hp.)	Motor Size (hp.)	Opening Width (in.)	Opening Height (in.)	Weight (lb.)
SE1-18-429-A	1,877	1,750	8,247.0	1,033.0	0.72	3/4	25.25	25.25	35

Model	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lwa	dBA	Sones
SE1-18-429-A	91	91	90	91	87	84	76	72	92	81	34

Figura 4.4 Ficha técnica del ventilador SE 1-18-429-A.

Fuente: Programa CAPS, (Ventiladores GREENHECK)

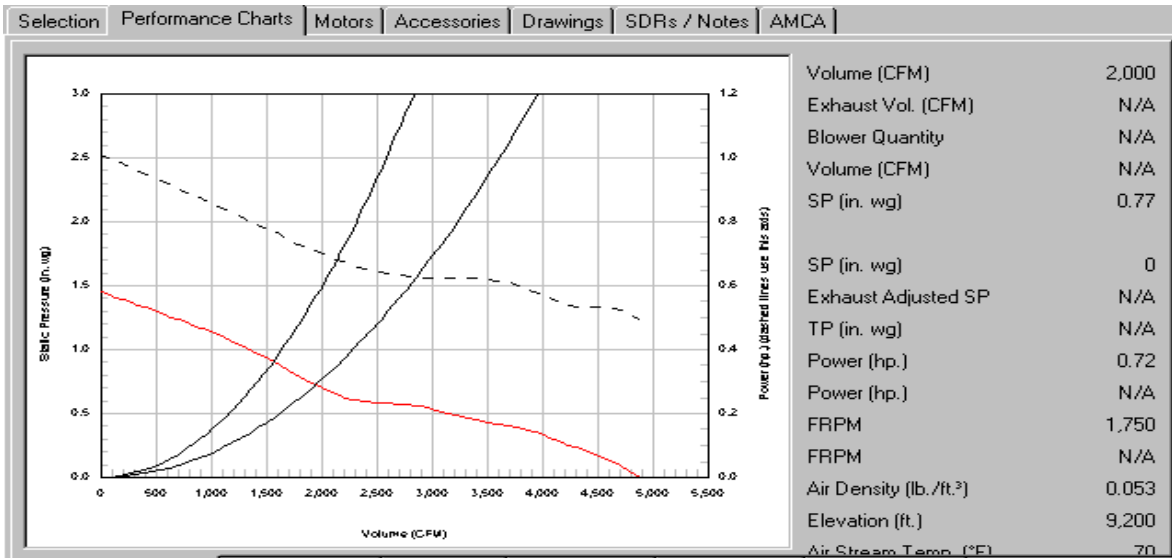


Figura 4.5 Curva de desempeño del ventilador SE 1-18-429-A.

Fuente: Programa CAPS, (Ventiladores GREENHECK)

Para la impulsión se utilizarán dos inyectores de aire que manejen un caudal de 3400 (ft<sup>3</sup>/min) con una presión estática de 0.125 pulg H<sub>2</sub>O éste se ubicará en la cúspide del techo para poder suministrar uniformemente el aire



RSFP

Selected Leadtime: <b>Standard</b>		Volume (CFM): <b>3,400</b>	Air Stream Temp. (°F): <b>70</b>	
Quantity: <b>2</b>	SP (in. wg): <b>0.125</b>	Elevation (ft.): <b>9,200</b>		
Tag: <b>Inyeccion</b>	<b>Invalid Sizes</b>		<b>Show Available Sizes</b>	

Model	Volume (CFM)	FRPM	Tip Speed (ft./min)	OV (ft./min)	Operating Power (hp.)	Motor Size (hp.)	Opening Width (in.)	Opening Length (in.)	Weight (lb.)
RSFP-100	3,400	1,067	2,793.0	3,009.0	1.06	1 1/2	17	17	146
RSFP-120	3,400	661	2,077.0	2,179.0	0.59	3/4	21	21	180
RSFP-150	3,400	421	1,653.0	1,553.0	0.32	1/3	23	23	250
<b>RSFP-180</b>	<b>3,400</b>	<b>305</b>	<b>1,437.0</b>	<b>1,122.0</b>	<b>0.21</b>	<b>1/3</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>285</b>
RSFP-200	3,400	235	1,230.0	833.0	0.14	1/2	33	33	431

Model	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lwa	dBA	Sones
RSFP-100	82	75	72	76	77	76	74	71	82	71	19.6
RSFP-120	77	69	70	74	73	72	71	65	78	67	15.5
RSFP-150	72	65	76	77	65	65	62	55	75	64	12.1
<b>RSFP-180</b>	<b>68</b>	<b>66</b>	<b>60</b>	<b>58</b>	<b>56</b>	<b>54</b>	<b>48</b>	<b>43</b>	<b>61</b>	<b>50</b>	<b>5.4</b>
RSFP-200	66	61	54	52	50	46	42	39	55	44	3.6

Figura 4.6 Ficha técnica del ventilador RSFP-180.



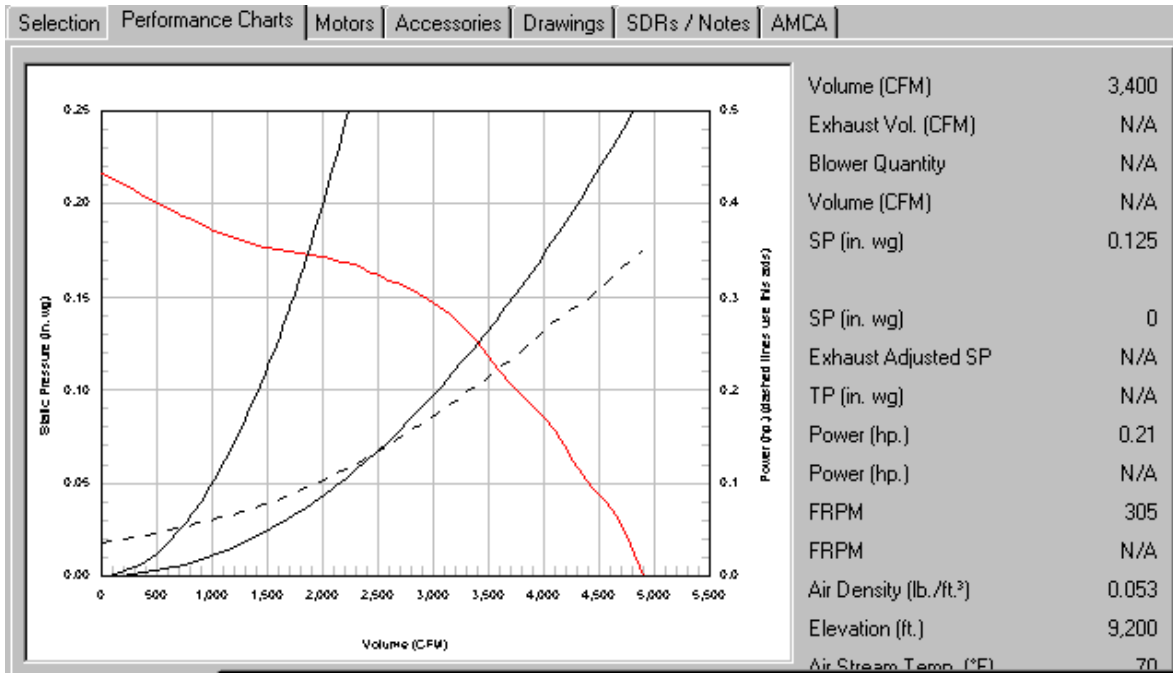


Figura 4.7 Curva de desempeño del ventilador RSFP-180.

Fuente: Programa CAPS, (Ventiladores GREENHECK)

Los ventiladores seleccionados, tienen un nivel de ruido de 73, 81 y 50 db respectivamente, con lo cuál cumplen con el Reglamento de Prevención de la Contaminación Ambiental por Ruido, mediante Acuerdo Ministerial No. 7789. RO/ 560 de 12 de Noviembre de 1990, el cual menciona que el nivel sonoro de procesos o máquinas industriales no debe superar 85 db.

En el Anexo 9 se puede observar muchas características que poseen todos los ventiladores antes seleccionados.

## 4.2 Sistemas de extracción local

### 4.2.1 Parámetros de diseño

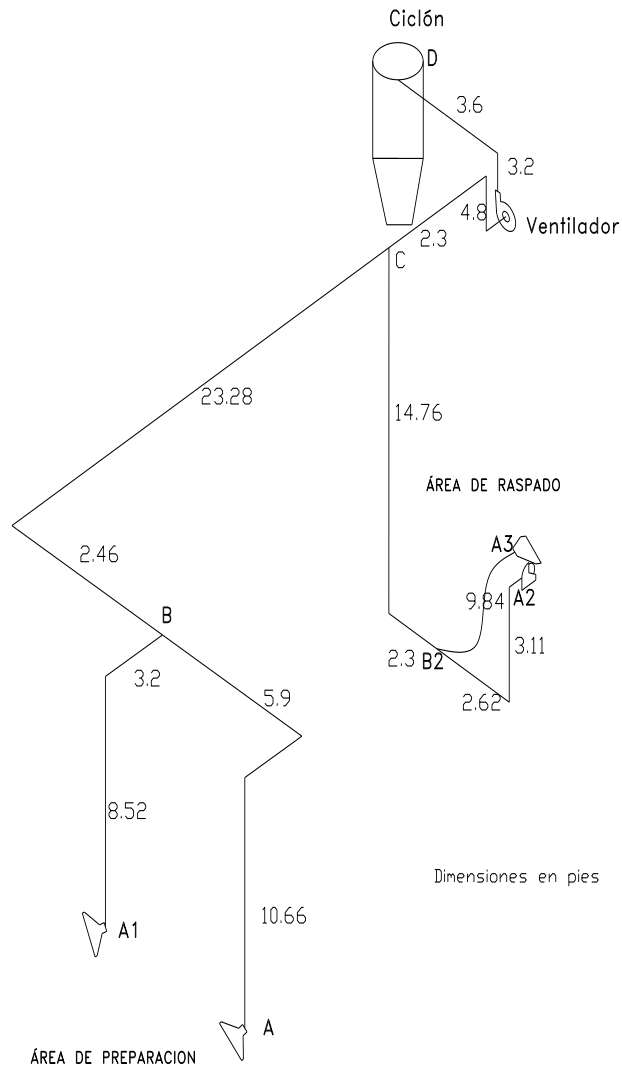


Figura 4.8 Isométrico de la distribución de tubería para las áreas de Preparación Y Raspado

Zona de trabajo	Dimensiones de la zona (pies)	Ruedas pulidoras		Número de trabajados
		Velocidad (rpm)	Diámetro (pulg)	
Preparación	8.50x5.50x2.80	14600	2	3
Raspado	6.85x5.50x2.80	700	10	1

Tabla 4.3 Parámetros de diseño para la zona de preparación y raspado.

#### 4.2.2 Selección y diseño de campanas

La campana presentada en la figura 4.2 es la mejor práctica en el caso específico del proceso de preparación debido a que por su disposición lateral ayuda a capturar los gases contaminantes y el material particulado lo más cerca de la fuente de contaminación. Ésta se ubicará sobre las máquinas que ayudan al soporte y rotación de la llanta.

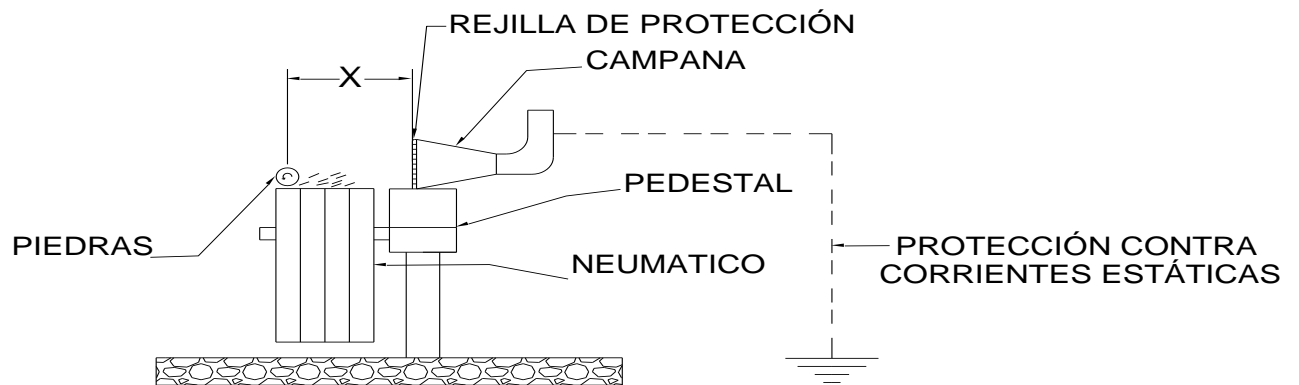


Figura 4.9 Disposición de la campana de captura en el área de preparación  
Fuente: Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice ACGIH 2001

Según recomendaciones de la ACGIH para este tipo de campanas y con una aplicación en trabajos de pulido de superficies el caudal (Q) que se maneja será calculado por la ecuación:

$$Q := 0.043 \cdot V_s \cdot (10x^2 + A) \quad (4.17)$$

Donde:

Vs: Velocidad de la rueda pulidora en pies por minuto de la superficie (sfm)

x: distancia desde la cara de la campana hasta el centro de la rueda, ft (fig 4.2)

A: Área de la cara de la campana ft<sup>2</sup>

Pero:

$$V_s = \frac{\pi * D * \omega}{12} \quad (4.18)$$

D: Diámetro de la rueda en pulg

$\omega$ : velocidad angular de la rueda rpm

De los parámetros de diseño se desprende:

D= 2 pulg

R= 4600rpm

Entonces:  $V_s = 7645$  fpm

Además las pérdidas en la campana son  $h_e=0.25$  VPd y la mínima velocidad en el ducto es 4000 fpm, debido a ésta alta velocidad las campanas deberán poseer rejillas metálicas para protección del personal y del equipo ya que cualquier objeto que se le coloque cercano a la campana podría ser transportado por el ducto hasta el ventilador, lo que puede dañar el equipo.

En este caso como no se conoce el caudal a utilizar se procede primero dimensionando una campana capaz de cubrir la zona de contaminación, la base de la campana tendrá una longitud de de 20pulg y de alto 20pulg lo cual da una área de  $400\text{pulg}^2$  o  $2.77$  ft<sup>2</sup>, que es suficiente para cubrir la emisión de contaminante.

Por último la distancia "X" es de 330mm o 1.08 ft

Entonces:

$$Q = 0.043 * (7645) * (10(1.08)+2.77)$$

$$Q = 4745 \text{ ft}^3/\text{min}$$

## RASPADO

El problema en la raspadora radica en que la campana o caperuza del tambor de cuchillas es muy bueno para las partículas grandes y medianas pero no para partículas pequeñas según estudios de la NIOSH (Instituto nacional para la seguridad y salud ocupacional) aunque se eleve la velocidad de succión no se logra atrapar completamente las partículas, por lo que se recomienda el uso de una campana auxiliar que ayuda a capturar las partículas más pequeñas y reduce de un 30 a 70% los niveles de contaminación.

Por lo que en esta zona se utilizara una campana ubicada sobre la caperuza, esta campana es del tipo de rendija con rebordes (flanged slot) para la cual se manejará una velocidad de captura de 2000 fpm para asegurar un buen desenvolvimiento de la campana y una velocidad en los ductos de 4000 fpm, igualmente se debe colocar rejillas metálicas por protección personal y del equipo.

La base tendrá  $L = 12$  pulgadas y el alto de la cara de la campana o slot no mayor a 0.2 de la base o sea 2.4 pulgadas, y los rebordes deben ser igual al slot .

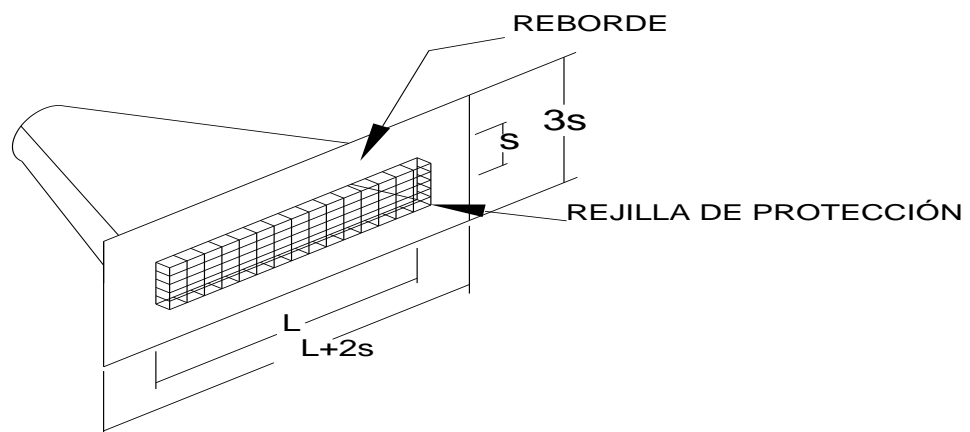


Figura 4.10 Campana tipo rendija rebordeada

Fuente: Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice ACGIH 2001

Campana tipo rendija rebordeada ( $s/L < 0.2$ )

$$Q = 2.6 L * V * X \quad (4.19)$$

L: longitud de la base ( pies)

V : la velocidad de captura (fpm)

X : la distancia desde la cara de la campana hasta el punto de extracción (pies)

Las dimensiones de la campana son la base L = 10 pulgadas y el alto no mayor a 0.2 de la base o sea 2 pulgadas, y los rebordes deben ser igual al alto, la distancia X es desde el punto de contacto del neumático con el tambor de cuchillas hasta la campana esto es 11 pulgadas.

Entonces el caudal necesario para cubrir la demanda en la raspadora es:

$$Q = 2.6 * 0.833 * 2000 * 0.91$$

$$Q = 3943.3 \text{ft}^3/\text{min}$$

Además las pérdidas en esta campana están dadas por  $h_e = 0.49 \text{VPd}$

Por otro lado según recomendaciones de la ACGIH para la campana o caperuza en el tambor de cuchillas, el caudal recomendable está en el rango de 1200 a 2000  $\text{ft}^3/\text{min}$ , para lo cual se toma una media de 1750 una velocidad mínima en el ducto de 3500 fpm y las pérdidas en la campana es  $h_e = 0.4 \text{VPd}$ .

Esta campana no se diseña ya que es parte constitutiva de la maquina, por esa razón solo se proporciona los datos necesario para el calculo de tuberías y pérdidas.

#### 4.2.3 Diseño de ductos

Los ductos serán construidos con acero galvanizado ya que presentan menos pérdidas por fricción y evita la corrosión, además deberán poseer protección contra corrientes estáticas conectando los ductos hacia tierra con cable #2 AWG y varilla de cobre, para evitar posibles incendios.

Tramo A-B = A1-B

Máxima área del ducto, A ( $\text{ft}^2$ )

$$A := \frac{Q}{V}$$

Donde:

V = velocidad en el ducto ( $\text{ft}/\text{min}$ )

$$A := \frac{Q}{Vd} \quad A = 1.2 \text{ ft}^2$$

$$D := 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

D= 1.229 ft o 14.64 pulg

Corrigiendo el diámetro

$$D_{ab} := 14$$

$$A_{ab} := \pi \left( \frac{D_{ab} \cdot 0.0833}{2} \right)^2$$

$$A_{ab} = 1.068 \text{ ft}^2$$

$$A_{ab} = 0.099 \text{ m}^2$$

**Velocidad actual en el ducto, V (ft/min )**

$$V := \frac{Q}{A}$$

$$V = 4440 \text{ fpm}$$

Siguiendo el mismo procedimiento se procede en los demas ramales tomando en consideración que en las uniones los caudales se adicionan por ejemplo en el tramo B–C  $Q_{BC} = Q_{AB} + Q_{A1B}$

Al final se tiene:

TRAMO	A-B=A1-B	B-C	A2-B2	A3-B2	B2-C	C-D
<b>Diámetro (pulg)</b>	14	20	8	13	15	25
<b>Velocidad (fpm)</b>	4440	4350	4298	4278	4436	4003

Tabla 4.4 Resultados del cálculo de Diámetros y velocidades en los tramos para las zonas de preparación y raspado.

Cabe indicar que estos resultados no son los definitivos ya que en el proceso de diseño para balancear las presiones estáticas en donde se unen dos o más tramos muchas veces necesario variar caudales, velocidades o diámetros de tubería.

#### 4.2.3.1 Cálculo de pérdidas en Ductos

Las pérdidas en los ductos y campanas están relacionadas directamente con la presión dinámica en el ducto que es lo primero que se calcula:

$$VP_d := \left( \frac{V_d}{4005} \right)^2$$

$VP_d$ : Presión dinámica en el ducto (pulg  $H_2O$ )

$V_d$  : Velocidad en el ducto (pies/min)

Luego se sigue con las pérdidas en las campanas las cuales están representadas por la presión estática en la campana que se rige por la ecuación:

$$SP_h = h_e + VP_d$$

Donde como ya se mencionó anteriormente:

$SP_h$ : Presión estática en la campana

$h_e$ : Pérdidas en la entrada de la campana

En la selección y diseño de cada campana se proporcionan los valores de  $h_e$ .

A continuación tal como se procedió en la zona de cemento y vulcanizado para el diseño se requiere conocer de cada tramo, el material, la longitud del ducto, el número de codos y en que ángulo se utilizarán, así también con cuantas piezas se diseñaran, y las entradas en el ramal o sea donde confluyen los ductos, además se debe conocer el ángulo de diseño con el que se amplía el ducto, de tal manera que se logre calcular las pérdidas debidas a todos los parámetros



mencionados, cabe mencionar que entre otras pérdidas se debe considerar a los dispositivos limpiadores de aire, estas están alrededor de 1.5 pulg de H<sub>2</sub>O.

Entonces el factor de fricción en el ducto para distintos materiales, se calcula mediante la siguiente ecuación, y esta dado en VP por pie de longitud:

$$H_f^{(galvanizado)} = 0.0307 * \left( \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}} \right)$$

$$H_f^{(aceronegro)} = 0.0307 * \left( \frac{V^{0.465}}{Q^{0.602}} \right) \quad (4.20)$$

$$H_f^{(flexible)} = 0.0307 * \left( \frac{V^{0.604}}{Q^{0.639}} \right) \quad (4.21)$$

Entonces la pérdida por fricción en los ductos obtiene multiplicando el coeficiente de pérdidas por la presión dinámica y esto por la longitud del ducto.

Pérdida por fricción en el ducto, Ld (pulg H<sub>2</sub>O )

$$L_d = L_{td} * H_f * VP_d$$

Con los codos se utilizaran codos de 5 piezas todos son de 90° y la relación de Radio/Diámetro del ducto es 1 por lo que el coeficiente de pérdidas por los codos es 0.33, el cual multiplicado por el numero de codos nos proporciona las pérdidas en pulg H<sub>2</sub>O.

Pérdidas en los codos, Lcodo (pulg H<sub>2</sub>O)

$$L_{codo} = N_{codo} * LC * VP_c$$

Las entradas de los ramales o intersecciones producen pérdidas que están relacionadas con el ángulo con el que se pretende expandir el diámetro de la tubería, para el propósito se utilizara un ángulo de 30°.

Pérdida en las intersecciones, Lint (pulg H<sub>2</sub>O)

$$Lint = LCint * VPd \quad (4.22)$$

LCint = Coeficiente de pérdida en la intersección (VPd) Anexo 7

Para un ángulo de 30° LCint = 0.18

Luego de calcular todas estas pérdidas se termina con las pérdidas totales en los ductos, LTd (in H<sub>2</sub>O ), que no es mas que la suma aritmética de todas las pérdidas a lo largo de éstos, o sea perdidas en las campanas, por fricción en los ductos, en los codos, intersecciones, purificadores de aire, etc..

Como último punto en los cálculos se debe encontrar la diferencia porcentual entre las presiones estáticas de los ramales que confluyen para unirse a un solo ducto, en donde encontramos los siguientes parámetros:

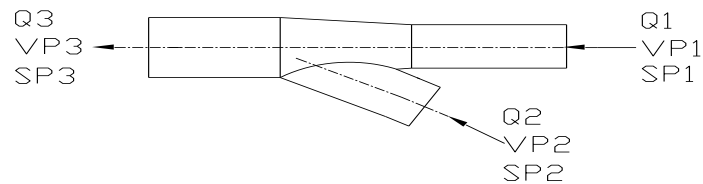


Figura 4.11 Parámetros que se involucran en una unión o intersección de tuberías

Sí esta diferencia excede el 5 %, las presiones estáticas deben ser balanceadas mediante el ajuste en el caudal del ducto con menor presión estática, utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{adj} = Q_{dis} \sqrt{\frac{SP_{mayor}}{SP_{menor}}} \quad (4.23)$$

Donde:

Qadj: Caudal ajustado o corregido que recorre en el ducto de menor resistencia (ft<sup>3</sup>/min)

Qdis: Es el caudal original con el que partieron los cálculos en el mismo ducto(ft<sup>3</sup>/min)

SPmayor: Presión estática del ducto con mayor resistencia (pulg. H<sub>2</sub>O)

SPmenor: Presión estática del ducto con menor resistencia (pulg. H<sub>2</sub>O)

Por ejemplo si SP2 es mayor un 5% a SP1 entonces el caudal Q1 debe ser ajustado:

$$Q_{adj} = Q1 \sqrt{\frac{SP2}{SP1}}$$

Luego de haber corregido los caudales se debe calcular la presión dinámica resultante de la intersección mediante la ecuación:

$$VPr := \left( \frac{Q1}{Q3} \right) \cdot VP1 + \left( \frac{Q2}{Q3} \right) VP2$$

(4.24)

Donde :

VPr Presion dinamica resultante

Q3 Caudal del ducto luego de la union

1,2 Ductos antes de la union

Sí la presión dinámica actual (es decir la calculada con la velocidad del ducto VP3) es menor a la presión dinámica resultante(VPr) entonces una deceleración en el sistema y la presión estática aumenta en este caso no se debe realizar ningún ajuste, por otro lado si VP3 es mayor a VPr entonces ocurre una aceleración, y un decremento en la presión estática entonces la diferencia entre VP3 - VPr debe ser adherida en la hoja de cálculo como otras pérdidas, con esto se logra recuperar la energía cinética en los ramales.


1	TRAMO	Orig				Corr				In		Out	
		A-B	A1-B	A1-B	B-C	A2-B2	A3-B2	A3-B2	B2-C	B-C	C-Vent	Vent-D	
2	Caudal Q(cfm)	4745	4745	5099	9844	1500	3943	4297.8	5798	9843.9	15642	15642	
3	Velocidad en el ducto V(fpm)	4440	4440	4770	4512	4298	4278	4661.4	4245	4512	4262	4262	
4	Diámetro seleccionado (pulg)	14	14	14	20	8	13	13	16	20	26	26	
5	Presión Dinámica VP(pulg. H <sub>2</sub> O)	1.23	1.23	1.42	1.27	1.15	1.14	1.35	1.12	1.2692	1.1325	1.13	
6	 Pérdidas en la entrada he(VPd)	0.25	0.25		0.40	0.49	0.49						
7		Presión estática SPh(pulg H <sub>2</sub> O)	1.54	1.77		1.61	1.70	2.02					
8	Longitud del ducto Ltd(pies)	16.4	11.7	11.7	25.7	6	9.84	9.84	17	25.7	7.21	6.5	
9	Coeficiente de fricción Hf(VPd/pie)	0.015	0.015	0.015	0.01	0.031	0.0241	0.0241	0.01	0.0098	0.0075	0.007	
10	Pérdidas por fricción Ld(pulg H <sub>2</sub> O)	0.306	0.218	0.252	0.321	0.214	0.271	0.3218	0.25	0.3206	0.0608	0.055	
11	Número de codos 90°	3	1.67	1.67	1	2			1.67	1	2	1	
12	Coef. de pérdidas en codos LC <sub>elbow</sub> (VPd/codo)	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33			0.33	0.33	0.33	0.33	
13	Pérdidas en los codos pulg(H <sub>2</sub> O)	1.217	0.677	0.782	0.419	0.76			0.62	0.4188	0.3737	0.374	
14	Coef. de pérdidas intersecciones LC <sub>int</sub> (VPd)		0.18	0.18			0.18	0.18	0.18				
15	Pérdidas por intersecciones Lint(pulg H <sub>2</sub> O)		0.221	0.255			0.2054	0.2438	0.2				
16	Otras pérdidas (Purificador de aire, VP, etc.) (pulg H <sub>2</sub> O)											1.5	
17	Pérdidas totales en el tramo (pulg. H <sub>2</sub> O)	3.06	2.65	3.06	0.74	2.59	2.18	2.58	1.07	0.7395	0.8083	2.302	
18	Presión estática acumulada en tramo (pulg H <sub>2</sub> O)	3.06	2.65	3.06	3.80	2.59	2.18	2.58	3.66	3.7995	4.61		
19	Presión estática predominante en las uniones	3.06	3.06	3.06		2.59	2.59	2.59		3.66	4.61		
20	Diferencia porcentual de SP		13.40	0.00			15.83	0.3861		-3.811			
21	Caudal corregido Q(cfm)		5099				4297.8						
22	Velocidad en el ducto corregida V(fpm)		4770				4661.4						
23	Presión dinámica corregida VP (pulg H <sub>2</sub> O)		1.42				1.3547						
24	VP resultante(intersecciones) VPr (pulg H <sub>2</sub> O)			1.327				1.3021					

Tabla 4.5 Cálculo de la presión estática en el sistema de ventilación del área de preparación y raspado  
Referirse a la figura 4.8 para visualizar los tramos

#### 4.2.4 Cálculo y selección de separador de polvillo

El dispositivo más recomendado para este tipo de aplicaciones que manejan partículas de más de 5  $\mu\text{m}$  es el ciclón, que provee una eficiencia del 95% lo cual es muy conveniente para limpiar el aire que va a ser despedido en el ambiente. De acuerdo a las características del material como se describió en capítulo 3 el hule y vapores de azufre no son contaminantes corrosivos, ni metálicos que podrían dañar el material del ciclón el único inconveniente es la posibilidad de impregnarse en las paredes por lo que se necesita una limpieza semanal del interior, por lo tanto se utilizará un acero al carbono de espesor de 1/8 de pulgada. El cálculo del diámetro que se necesita para el diseño de este tipo de purificadores de aire es determinado por el caudal y la velocidad el ducto de entrada al ciclón, en este caso específico es igual al que utiliza el ventilador ya que el sistema de ventilación termina en el ciclón, entonces:

$$D_c = \sqrt{\frac{8 * Q}{V_{in}}}$$

$D_c$ : Diámetro del ciclón (ft)

$Q$  : Caudal de aire que ingresa al ciclón ( $\text{ft}^3/\text{min}$ )

$V_{in}$ : Velocidad de entrada (fpm)

Estos parámetros corresponden al tramo CD del diseño.

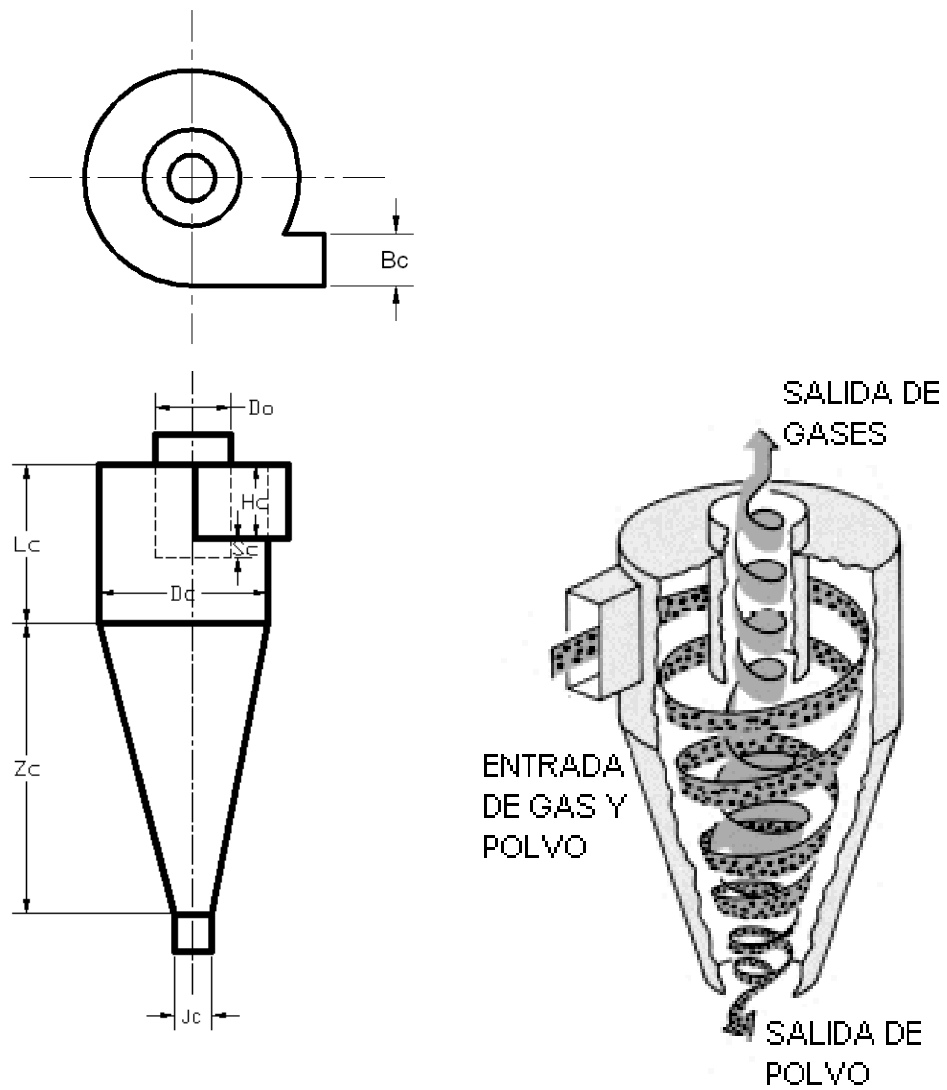
Entonces:

$$D_c = \sqrt{\frac{8 * 15661}{4262}}$$

$$D_c = 5.42 \text{ ft.}$$

$$D_c = 1.652 \text{ m}$$

Partiendo del cálculo del diámetro del ducto existen recomendaciones para dimensionar todo el conjunto del ciclón que en la figura 4.12 se pueden observar.



$$\begin{aligned}
 B_c &= D_c / 4 & H_c &= D_c / 2 & S_c &= D_c / 8 \\
 D_o &= D_c / 1.6 & J_c &= D_c / 4 & L_c &= 1 * D_c \\
 & & Z_c &= 2 * D_c & &
 \end{aligned}$$

Figura 4.12 Dimensiones recomendadas para diseño de ciclón tipo 1D-2D  
Fuente: American Society of Agricultural Engineers (ASAE), Effect of Air Density on Cyclone Performance and System Design

De acuerdo a estas recomendaciones el ciclón debe ser construido con las siguientes dimensiones:

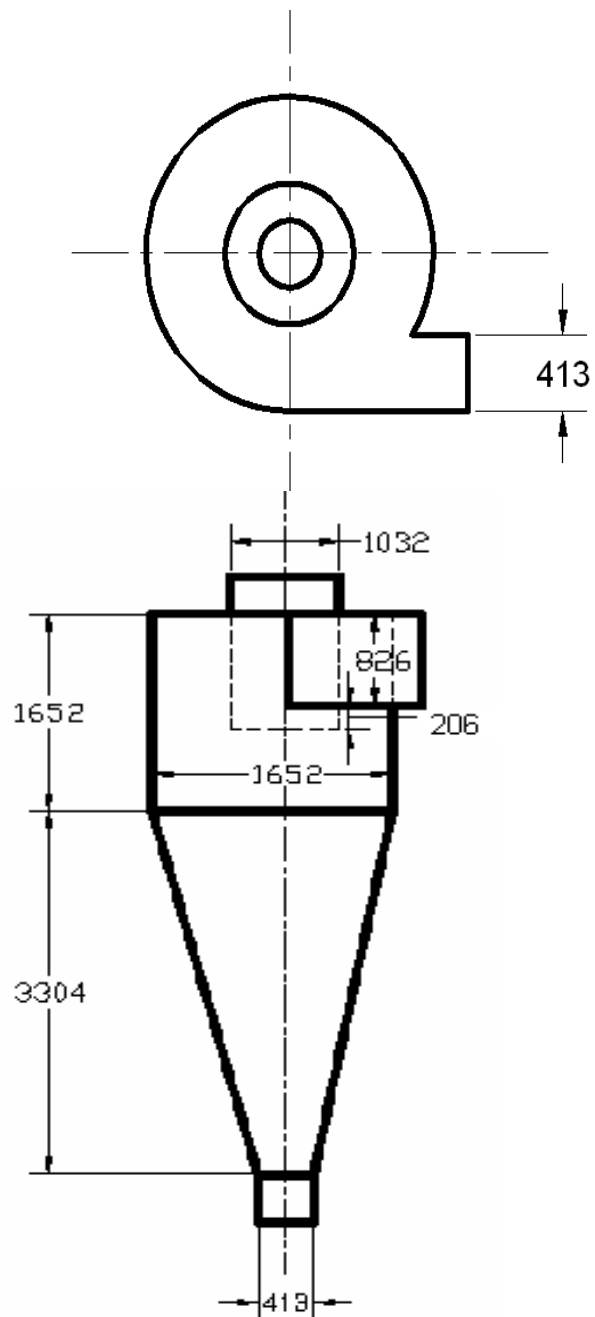


Figura 4.12 Dimensiones recomendadas para diseño de ciclón tipo 1D-2D

#### 4.2.5 Cálculo y selección de ventiladores

Una vez terminada la hoja de cálculo de la pérdidas en los diferentes tramos para el calculo del FSP del ventilador se procede de la siguiente manera:

$$FSP = |SPin| + |SPout| - VPin$$

Entonces la presión estática de entrada SPin corresponde a la presión acumulada en el ultimo tramo antes del ventilador (tramo C vent), al igual que la presión dinámica de ingreso (VPin), la presión estática de salida SPout corresponde a las pérdidas luego del ventilador que en mayor valor pertenecen al ciclón.

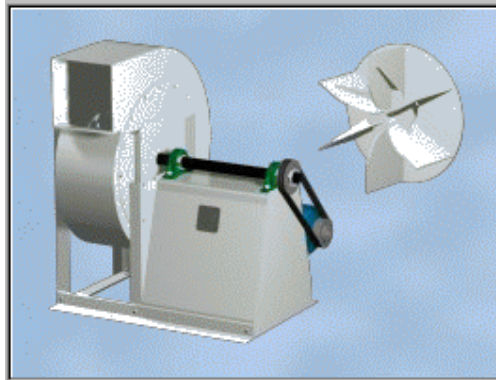
$$\text{Entonces } FSP = 4.61 + 2.30 - 1.13$$

$$FSP = 5.78 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

Como precaución de toma un factor de seguridad del 20 % entonces la presión estática con la cual se seleccionará el ventilador es **6.93 pulg H<sub>2</sub>O**.

El caudal que maneja este extractor es de 15642 ft<sup>3</sup>/min entonces el equipo que se utilizará es del tipo IPW diseñado para manejar aire proveniente de procesos de desbaste de material:





Model	Class	CSP (in. wg)	DV (ft./min)	FRPM	Max Class FRPM	Operating Power (hp.)	Startup Power (hp.)	Motor Size (hp.)	SE
21-IPW	SD	6.93	6,473.0	1,382	1,779	37.72	37.72	40	46
23-IPW	SD	6.93	5,342.0	1,187	1,623	33.56	33.56	40	52
26-IPW	SD	6.93	4,205.0	981	1,439	29.38	29.38	30	60
29-IPW	SD	6.93	3,391.0	849	1,286	28.09	28.09	30	62

Model	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lwa	dBa
21-IPW	125	121	115	106	99	95	90	86	110	99
23-IPW	124	118	113	102	97	92	87	83	108	97
26-IPW	122	115	109	97	93	89	84	80	105	94
29-IPW	118	113	106	95	90	86	82	78	102	91

Figura 4.13 Ficha técnica del ventilador 26-IPW

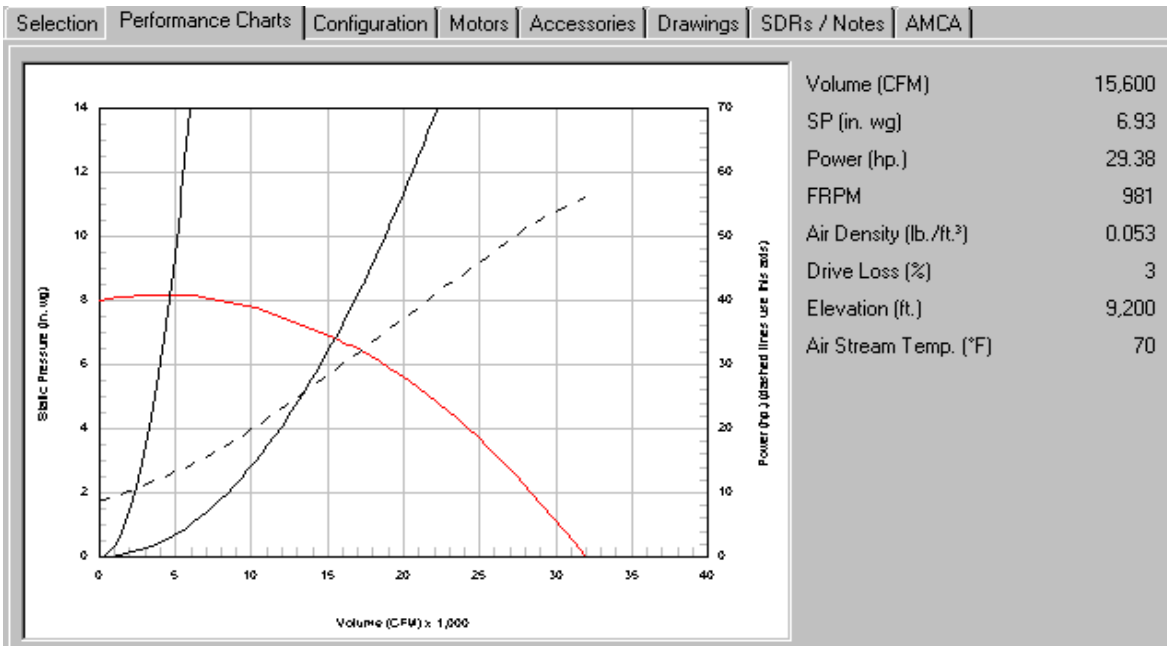


Figura 4.14 Curva de desempeño del ventilador 26-IPW  
Fuente: Programa CAPS, (Ventiladores GREENHECK)

## CAPITULO 5

# ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

### 5.1 Análisis Económico y social

La importancia que tiene hoy en día poseer herramientas adecuadas para decidir sobre la conveniencia económica de realizar determinados proyectos de inversión se fundamenta en la necesidad de obtener una visión lo más certera posible en cuanto a la rentabilidad y el riesgo asociado al proyecto.

Por lo tanto, una decisión de inversión requiere ser sometida a un análisis que cuente, en lo posible, con la mayor cantidad de información la cual debe abarcar la consideración de todos los factores que participan y condicionan el proyecto.

Existen proyectos donde la empresa no percibe ingresos más bien son futuros ahorros que se provocarían gracias a la ejecución de los mismos, como es el caso de los proyectos tendientes a prevenir los riesgos laborales (accidentes y enfermedades del trabajo) ya que sin duda la prevención de accidentes es fundamental para que el empresario tenga un ambiente seguro dentro de su organización haciéndola funcionar adecuadamente sin exponer la vida de los trabajadores y con unas condiciones de trabajos mas humanas lo cual ayudará enormemente a que el obrero se sienta importante y seguro en su trabajo provocando a la ves con esto un ahorro de dinero.

Es que si para la vitalidad de la producción y los servicios es importante el cuidado, mantenimiento y la preservación de equipos, maquinarias y herramientas, mucho más lo es el hombre y con una mayor connotación en un sistema como el nuestro; pues es lo máspreciado de la sociedad. Por lo que no cabe duda que en el proceso de producción hay que prestarle una especial atención a la seguridad y salud en el trabajo del hombre en su doble significación como aspecto humano-social y en la repercusión económica, cuando un trabajador se enferma o accidenta influye en la economía y en la calidad de la producción, el costo se eleva porque hay que pagar el salario al que sustituye el enfermo o accidentado y a este el subsidio; hay afectaciones al proceso de producción pues, un trabajador con menos destreza que el otro, perjudica todo el proceso productivo.

El problema con este tipo de proyectos es que su análisis económico se basa estimaciones y supuestos ya que no se puede saber exactamente cuando ocurrirá tal o cual efecto sea accidente o enfermedad, por lo que se utiliza una técnica basada en el método probabilístico desarrollado por William T. Fine, permite calcular la relativa gravedad y peligrosidad de cada riesgo a través de

una fórmula que, ponderando diversos factores de la inspección de los riesgos, calcula el peligro de un riesgo estableciendo unas “magnitudes del riesgo” que determinan la urgencia de las acciones preventivas.

Mediante una fórmula adicional se pondera el coste económico y la efectividad de las posibles acciones correctoras frente a la “magnitud del riesgo” y nos determina si su coste tiene justificación.

### **Cálculo de la Magnitud de riesgo (MR).**

Con dicho cálculo se obtiene una evaluación numérica considerando tres factores:

- a) las Consecuencias (C) de un posible accidente debido al riesgo.
- b) la Exposición (E) frecuencia con que ocurre la situación de riesgo.
- c) la Probabilidad (P) de que ocurra la secuencia completa del accidente y consecuencias.

La fórmula de la magnitud del riesgo es la siguiente:

$$MR = C \times E \times P \quad (5.1)$$

a) Consecuencias (C):

El primer elemento, las consecuencias ( C ) se define como: el resultado más probable de un accidente, debido al riesgo que se considera, incluyendo desgracias personales y daños materiales.

Los valores numéricos o pesos asignados a cada factor están basados en el juicio y experiencia del investigador que hace el cálculo y en los costos que la empresa pueda incurrir en cada caso, no debiéndose adoptar ningún valor sin ajustarse a los costos de la empresa en materia de prevención.

<b>GRADO DE SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS</b>	<b>VALOR</b>
A) CATÁSTROFE: MUCHAS MUERTES O DAÑOS SUPERIORES A 1 MILLÓN DE DOLARES GRAN QUEBRANTO DE LA ACTIVIDAD	100
B) DESASTRE: VARIAS MUERTES (DAÑOS DESDE 500.000 A 1'000.000\$)	50
C) MUY SERIA: MUERTE(DAÑOS DE 100.000 A 500.000\$)	25

D) SERIA: LESIONES EXTREMADAMENTE GRAVES (INVALIDES PERMANENTE(DAÑOS DE 1.000 A 100.000\$)	15
E) IMPORTANTE: LESION TEMPORAL (DAÑOS HASTA 1.000\$)	5
F) NOTABLE: PEQUEÑAS HERIDAS, CONTUSIONES, GOLPES, PEQUEÑOS DAÑOS	1

Tabla 5.1 Valor ponderado del grado de severidad de las consecuencias

b) Exposición (E):

El factor de exposición (E) se define como: La frecuencia con que se presenta la situación de riesgo, siendo tal el primer acontecimiento indeseado que iniciaría la secuencia del accidente. Mientras más grande sea la exposición a una situación potencialmente peligrosa, mayor es el riesgo asociado a dicha situación

El cuadro siguiente se presenta una posible gradación de la frecuencia de exposición:

<b>FRECUENCIA DE LA EXPOSICIÓN</b>	<b>VALOR</b>
A) MUY ALTA: CONTINUAMENTE (MUCHAS VECES AL DIA)	10
B) ALTA: FRECUENTEMENTE (UNA VEZ AL DIA)	6
C) MEDIA: OCASIONALMENTE (UNA O DOS VECES POR SEMANA)	3
D) BAJA: POCO USUAL (DE UNA VEZ AL MES A UNA AL AÑO)	2
E) MUY BAJA: RARAMENTE (SE HA SABIDO QUE OCURRE)	1
F) INCIERTA: MUY DIFICILMENTE (NO SE HA SABIDO QUE OCURRE, PERO ES CONCEDIBLE)	0.5

Tabla 5.2 Valor ponderado de la frecuencia de exposición

c) Probabilidad (P):

Este factor se refiere a la probabilidad (P) de que una vez presentada la situación de riesgo, los acontecimientos de la secuencia completa del accidente se sucedan en el

tiempo, originando accidente y consecuencias.

PROBABILIDAD	VALOR
A) DEBE ESPERARSE: ES EL RESULTADO MÁS PROBABLE Y ESPERADO SI LA SITUACION DE RIESGO TIENE LUGAR	10
B) PUEDE PRODUCIRSE: COMPLETAMENTE POSIBLE (PROBABILIDAD 50%)	6
C) RARO PERO PUEDE PRODUCIRSE: SERIA UNA SECUENCIA O COINCIDENCIA RARA (PROBABILIDAD 10%)	3
D) POCO USUAL: SERIA UNA COINCIDENCIA REMOTAMENTE POSIBLE. SE SABE QUE HA OCURRIDO. (PROBABILIDAD 1%)	1
E) CONCEDIBLE PERO IMPROBABLE: NUNCA HA SUCEDIDO EN MUCHOS AÑOS DE EXPOSICION, PERO ES POSIBLE QUE OCURRA	0.5
F) IMPOSIBLE: ES PRACTICAMENTE IMPOSIBLE QUE SUCEDA (UNA PROBABILIDAD ENTRE UN MILLON)	0.25

Tabla 5.3 Valor ponderado de la probabilidad que concrete el riesgo  
Calculadas las "magnitudes del riesgo" (MR) para toda una serie de situaciones de riesgos, utilizando un mismo juicio y criterio, pueden ordenarse según la gravedad relativa de sus consecuencias o pérdidas.

- MR > 500            EL RIESGO DEBE SER CORREGIDO DE URGENCIA. PUEDE IMPLICAR PARO DE LA ACTIVIDAD
- 100 < MR < 500    MUY ALTO REQUIERE CORRECCION INMEDIATA
- 10 < MR < 100     PRECISA ATENCIÓN RIESGO DEBE SER CORREGIDO PERO NO ES URGENTE
- MR < 10            ES UN RIESGO ASUMIBLE

#### Justificación de la Acción Correctora.

Para justificar una acción correctora propuesta para reducir un situación de riesgo, se compara el costo de la acción correctora con el grado de peligrosidad. Para la justificación se añaden dos factores: Costo y Corrección.

$$\text{Justificación} = \frac{\text{Magnitud del riesgo}}{\text{Factor de costo} \times \text{Grado de Corrección}} \quad (5.2)$$

- Factor de Costo:

FACTOR DE COSTO DEL PROYECTO	VALOR
------------------------------	-------

1. MAS DE 50.000 \$	10
2. 25.000 A 50.000 \$	6
3. 10.000 A 25.000\$	4
4. 1.000 A 10.000\$	3
5. 100 A 1.000 \$	2
6. 25 A 100\$	1
7. MENOS DE 25 \$	0.5

Tabla 5.4 Valor ponderado del factor de costo

- Grado de Corrección:

Una estimación de la disminución del Grado de Peligrosidad que se conseguiría de aplicar la acción correctora propuesta

GRADO DE CORRECCION	VALOR
1. RIESGO ABSOLUTAMENTE ELIMINADO	1
2. RIESGO REDUCIDO AL 75% PERO NO ELIMINADO	2
3. RIESGO REDUCIDO DEL 50 AL 75%	3
4. RIESGO REDUCIDO DEL 25 AL 50%	4
5. LIGERO EFECTO SOBRE EL RIESGO MENOS DEL 25%	6

Tabla 5.5 Valor ponderado del grado de corrección

Fuente: Fine, W. Evaluación Matemática para el Control de Riesgos con datos adaptados a nuestro medio DIVISIÓN DE RIESGOS DEL TRABAJO I.E.S.S.

Para determinar si un gasto propuesto está justificado, se sustituyen los valores en la fórmula y se obtiene el resultado.

- El Valor de Justificación Crítico se fija en 10:  
Si justificación es mayor de 10, el gasto se considera justificado.
- Si justificación es menor de 10, la acción correctora propuesta no está justificada.
- Para valores por encima de 20, la acción correctora propuesta es altamente interesante por su efecto reductor del riesgo

Para proceder con el método propuesto primero como ya se menciona en el capítulo 1 las enfermedades profesionales más serias que podrían ocurrir en la planta son los daños al pulmón, hígado, riñones, problemas a nivel circulatorio y del corazón, por lo que revisando la tabla 5.1 las consecuencias de estos daños a la salud se clasifican como serias: lesiones extremadamente graves cuyos daños van desde los 1.000 a los 100.000\$, o sea un valor ponderado de 15.

La exposición ( E ) de los obreros es continua por lo tanto su valor es de 10 (tabla 5.2)

Lo que respecta a la probabilidad (P) según los estudios al respecto en materia de enfermedades profesionales ejemplo Rosenberg J. Occupational medicine. San Francisco: University of California, 1990 y OMS. Límites recomendados por razones de salud en la exposición profesional a determinados contaminantes. Ginebra, 1982 debelan que existe la probabilidad o que es una secuencia rara no muy frecuente que los acontecimientos se den por lo que se debería trabajar con una probabilidad de menos del 50% y un valor ponderado de 3 (tabla 5.3)

$$\text{Entonces } MR = C \times E \times P = 15 \times 10 \times 3 = 450$$

Así que de acuerdo a la clasificación del riesgo la situación de la planta se encuentra en una zona de muy alto riesgo y necesita corregir su problema inmediatamente.

Para continuar ahora con la justificación económica entonces se debe valer del presupuesto para implementar el proyecto el cual se desarrolla a continuación:

### 5.1.1 Identificación y cuantificación de los costos del proyecto

#### 5.1.1.1 Sistema de ventilación por dilución de gases contaminantes

Descripción	Unidad	Cant	Precio Unitario USD	Precio Total USD
<b>SUMINISTRO DE EQUIPOS Y MATERIALES IMPORTADOS</b>				
Ventiladores de suministro 3400cfm @ 0.125s.p. Motor eléctrico 1/3 HP@1725RPM 115/60/1 con filtros lavables y louvers. Similar a Greenheck RSFP-180-3	U	2	2673.44	5346.88

Ventiladores de extracción 1877cfm @ 0.77s.p. Motor eléctrico 3/4 HP@1750 208-230/60/3. Similar a Greenheck SE1-18-429-A7	U	2	454.72	909.44
Ventiladores de extracción 5606cfm @ 1.55s.p. Motor eléctrico 3 HP@1725RPM 208-230/60/3. Similar a Greenheck BSQ-240HP-30	U	1	2256.8	2256.8
Filtro de carbón activo capacidad remover VOC's caudal de 2000cfm Similiar Flanders FCP 201- 24x24x2"	U	3	155	465
Filtro de carbón activo capacidad remover VOC's caudal de 1000cfm Similiar Flanders FCP 201- 24x12x2"	U	2	113	226
Filtro de lavable capacidad de velocidad del aire 500fpm y caudal de 2000cfm Similiar Flanders KKM 24x24x2"	U	3	135	405
Filtro de lavable capacidad de velocidad del aire 500fpm y caudal de 1000cfm Similiar Flanders KKM 24x12x2"	U	2	98	196
<b>SUMINISTRO DE TRABAJOS Y MATERIALES LOCALES</b>				
Instalación de ventiladores: Incluye base de estructura metálica, anclajes, etc.	U	5	50	375
Suministro y montaje de ductos, accesorios y paneles en tol galvanizado	Kg	170	4.2	714
Damper 48x48"	U	1	43	43
<b>VALOR TOTAL EQUIPOS Y MATERIAL IMPORTADO</b>			<b>USD</b>	<b>9805.12</b>
<b>VALOR TOTAL TRABAJOS Y MATERIALES LOCALES</b>			<b>USD</b>	<b>1007</b>
<b>VALOR TOTAL SISTEMA DE VENTILACION POR DILUCION</b>			<b>USD</b>	<b>10812.1</b>

**Tabla 5.6 Presupuesto sistema de ventilación por dilución.**

**5.1.1.2 Sistema de extracción local**

Descripción	Unidad	Cant	Precio Unitario USD	Precio Total USD
<b>SUMINISTRO DE EQUIPOS Y MATERIALES IMPORTADOS</b>				
Ventiladores de extraccion 15600cfm @ 6.93s.p. Motor electrico 30 HP@1750 208-230/60/3. Similar a Greenheck 26-IPW	U	1	12249.44	12249.44
<b>SUMINISTRO DE TRABAJOS Y MATERIALES LOCALES</b>				



Instalación de ventiladores: Incluye base de estructura metálica, anclajes.	U	1	50	50
Suministro y montaje de ductos, accesorios y paneles en tol galvanizado 1/32"	Kg	492	4.2	2066.4
Construcción de ciclón tol negro 1/16"	Kg	230	4.2	966
Costos indirectos, transporte, dirección y supervisión técnica		1	60	60
<b>VALOR TOTAL EQUIPOS Y MATERIAL IMPORTADO</b>			<b>USD</b>	<b>12249.44</b>
<b>VALOR TOTAL TRABAJOS Y MATERIALES LOCALES</b>			<b>USD</b>	<b>3142.4</b>
<b>VALOR TOTAL SISTEMA DE VENTILACIÓN LOCALIZADO</b>			<b>USD</b>	<b>15391.84</b>
<b>VALOR TOTAL DEL PROYECTO</b>			<b>USD</b>	<b>26203.96</b>

Tabla 5.7 Presupuesto sistema de ventilación localizado

Fuente: Ventiladores GREENHECK, Filtros FLANDERS , IMECANIC construcciones

El factor de costos entonces se ubica entre los 25.000 a 50.000\$ y su valor ponderado es 6 (tabla5.4), luego para el grado de corrección se debe ser conciente que este tipo de proyectos no trata de eliminar completamente el problema, porque es ingenuo pensar en ello sino mas bien se prevé reducir los niveles de contaminación hasta un punto que puedan convivir con los obreros que esta expuestos, entonces se estima que se reduzca al menos 75% pero no se elimina totalmente, con este análisis el valor para este grado de corrección es de 2.

Al aplicar la formula:

Magnitud del riesgo

Justificación = -----

Factor de costo x Grado de Corrección

$$\text{Entonces Justificación} = \frac{450}{6 \times 2} = 37.5$$

Tomando la clasificación para los valores de justificación por encima de 20, la acción correctora propuesta es altamente interesante por su efecto reductor del riesgo.

### 5.1.2 Beneficios

Antes de hablar de los beneficios primero se debe conocer los perjuicios que puede contraer la empresa en el caso que por desgracia uno o varios obreros quedaren incapacitados por efectos de la contaminación y la falta de prevención en la seguridad y salud laboral que es obligación de la empresa de acuerdo al código del trabajo articulo 416, el incumplimiento de este mandato produciría que la empresa tenga que indemnizar al o los agraviados, que aunque en primera instancia es el seguro social quien cubre este rubro luego la división de riesgos del trabajo por sus investigaciones puede fallar en contra de la empresa con lo cual ésta se vería en la obligación de devolver este dinero al seguro, indemnizaciones que llegan hasta cubrir un sueldo vitalicio de 80%

del último percibido, sin contar que la empresa que tiene accidentes de trabajo, también tiene fallos y anomalías en calidad, producción y ámbitos clave de su actividad.

Por otro lado se tiene muchas responsabilidades que deberá cumplir el empleador entre las cuales:

- Responsabilidad civil: Tiene por objeto el resarcimiento de los daños y perjuicios que pueden derivarse del incumplimiento de obligaciones de prevención.
- Responsabilidad administrativa: Las infracciones administrativas están reguladas en distintos artículos de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. La sanción administrativa más frecuente es la multa cuya cuantía, dependiendo de la calificación de la infracción, varía entre un mínimo de 50 dolares por infracción leve en su grado mínimo, hasta 1 millón por la muy grave en su grado máximo.

Otras medidas de carácter administrativo que pueden llegar a ser muy gravosas para la empresa son la paralización de trabajos, la suspensión o cierre del centro de trabajo y las limitaciones para contratar con la Administración.

- Responsabilidad en materia de Seguridad Social: Los supuestos que contempla por responsabilidades prestacionales de Seguridad Social a cargo del empresario infractor son las siguientes:
  - Recargo de prestaciones económicas que tengan su causa en accidente de trabajo o enfermedad profesional, según la gravedad de la falta, de un 30 a un 50%.
  - Aumento de la cuantía de las primas en el caso de empresas que incumplan sus obligaciones en materia de higiene y seguridad en el trabajo. El aumento, que con carácter general no podrá exceder del 10%, puede llegar al 20% en caso de reiterado incumplimiento.
  - Abono de las prestaciones de Seguridad Social en los supuestos de incumplimientos en materia de accidentes de trabajo o de normas específicas para enfermedades profesionales
- Responsabilidad penal: Regulada por la Ley Orgánica del Código Penal tipifica como delitos determinadas conductas en materia de seguridad y salud en el trabajo,

sancionando tales conductas con penas privativas de libertad y con multas económicas.

Estos procesos y condenas judiciales suponen además toda una serie de gastos adicionales por abogados, pruebas, etc.

Un costo importante para la empresa está constituido por la pérdida de los recursos humanos que se produce cuando los trabajadores son apartados del proceso productivo por causa de los accidentes de trabajo, bien sea temporal o definitivamente. Los conocimientos y experiencia de un trabajador, no son fácilmente sustituibles, porque están ligados a las propias características, conocimientos y potencialidades de la persona. Pueden ser además importantes los problemas y molestias que se derivan para el personal de la empresa. De ellos, los más significativos son los procesos judiciales a que pueden ser sometidas aquellas personas a las que el órgano judicial imputa responsabilidades en el accidente.

Todas estas desventajas de no poseer una política de control de riesgos se convertiría en un beneficio si se la adoptara, ahorrándose todos los recursos que se utilizarían para afrontar estos problemas, por otro lado un buen ambiente de trabajo saludable e higiénico eleva el ánimo y el autoestima de las personas lo cual se refleja en una elevación de la productividad comprobada por algunos investigadores en el campo de hasta un 15 %.

## **5.2 Análisis Financiero**

.La evaluación de proyectos por medio de métodos matemáticos- Financieros es una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones por parte de los administradores financieros, ya que un análisis que se anticipe al futuro puede evitar posibles desviaciones y problemas en el largo plazo. Las técnicas de evaluación económica son herramientas de uso general. El valor presente neto y la tasa interna de rendimiento se mencionan juntos porque en realidad es el mismo método, sólo que sus resultados se expresan de manera distinta. Vale recordar que la tasa interna de rendimiento es el interés que hace el valor presente igual a cero, lo cual confirma la idea anterior.

En el caso del presente proyecto para la valoración económica de los costos, se debería disponer o bien de una información fiable que permitiera una estimación, lo más aproximada a la realidad, del coste real del accidente o bien de un procedimiento integrado

en el funcionamiento de la empresa que permitiera, para cada accidente registrado, la obtención de los datos precisos para la valoración económica puntual del mismo, lo que no fue posible por la falta de registros y estadísticas de este tipo.

### **5.2.1 TIR, VAN, relación Beneficio-Costo**

El echo mismo que no existen datos relevantes y veraces para poder cuantificar el análisis financiero se vuelve incorrecto y no fiable por estas razones se presenta la alternativa de evaluación de este tipo de proyectos por medio del método de FINE

En cuanto a la relación beneficio-costo del proyecto se lo analizó como un beneficio social hacia los trabajadores involucrados directamente con los procesos de producción.

## **CAPITULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

1. Gracias a la colaboración de la Escuela Politécnica Nacional y su Unidad de Monitoreo de Emisión de Gases se logró identificar los contaminantes presentes y cuantificar sus concentraciones, por otro lado mediante la hoja de seguridad del material Solvente para Caucho se identificó los límites de exposición de este material y sus diferentes características, estos datos y la ubicación física de las diferentes fuentes de contaminación ayudó a que el proyecto se lo realice en forma integra sin más inconvenientes, calculando que el índice de calidad de aire ICAIRE elevará su valor hasta un 63% lo que ubicaría la planta en una zona de moderada afectación, mediante la selección y ubicación de los sistemas de extracción e impulsión en los lugares mas idóneos de acuerdo a la investigación de las mejores prácticas que en ventilación industrial y control de contaminantes existe, por medio de las publicaciones de instituciones como OSHA, ACGIH y ASHRAE que son mundialmente reconocidas por sus aportaciones y experiencias en este campo de la industria.

2. La planta se encuentra muy afectada por los contaminantes presentes en especial por el solvente para caucho, el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y por material particulado los cuales son causantes de varias enfermedades muy peligrosas para la salud de quienes se exponen a ellos, en especial daños a los pulmones, la piel, los riñones, el hígado, el sistema circulatorio y hasta del corazón.

3. Los niveles permisibles para la exposición de los contaminantes se establecen en 400ppm para el solvente de caucho, 350 mg/m<sup>3</sup> para el SO<sub>2</sub> y 150 mg/m<sup>3</sup> para el material particulado, teniendo presente que la mejor manera de controlar niveles de contaminación es mediante la utilización de

ventilación mecánica que permite fijar los caudales, velocidades de transporte y captura de contaminantes para la extracción e impulsión a diferencia de la ventilación natural que depende de las condiciones climáticas que nunca son constantes.

4. El dióxido de azufre proviene de fuentes fijas como en el caso de la planta los responsables son los autoclaves, el uso del solvente para caucho provoca una emanación de compuestos orgánicos volátiles por evaporación, teniendo en cuenta que estos contaminantes se encuentran en áreas amplias donde localizar la extracción se torna dificultosa, se trató este caso con un sistema de ventilación por dilución que permite aumentar la cantidad de aire fresco y puro reduciendo así la concentración de los gases mencionados a niveles que sean permisibles para el ser humano.

5. Las formulas utilizadas para el diseño del sistema por dilución se relacionan con el caudal de contaminante generado y los límites permisibles soportados para una actividad de trabajo de 8 horas diarias (TLV) en el caso de los solventes y para los gases de acuerdo al tiempo en que se requiere disminuir desde una concentración hasta la concentración límite, gracias a estos cálculos se puede predecir el comportamiento que tendrá la concentración del contaminante así el solvente en menos de un minuto caerá su concentración al (TLV) desde que se pone en funcionamiento el sistema y así se mantendrá mientras funcione el sistema, en el caso del dióxido de azufre serán 30 minutos hasta reducir su concentración que es un tiempo prudencial de acuerdo a lo investigado.

6. Sin duda el material particulado proviene de las áreas de desbaste de llantas tal como lo demuestra la inspección de calidad de aire sobrepasando el límite en más del 6800% de lo permitido, esto debido a la incorrecta aplicación de los sistemas de extracción utilizados, porque en el caso de preparación se utilizan campanas receptoras que sin lugar a dudas es totalmente absurdo querer que partículas viajen hacia la campana, ya que una simple corriente de aire puede desviarlas hacia otros lugares, las campanas de captura son en cambio utilizadas para atrapar el contaminante antes que se desplace de lugar, en el caso de las raspadoras, el uso aislado de la campana de caperuza está demostrado por NIOSH que solamente con el uso de campanas auxiliares se puede reducir del 30 al 70% la emanación de partículas pequeñas.

7. La ventaja principal del diseño del sistema de extracción en la cabina de encementado es que el contaminante será barrido completamente gracias a las rendijas ubicadas en la pared de extracción además el deflector provoca un efecto de chimenea que ayuda a evacuar los gases rápidamente, además cabe señalar que es muy importante proteger el medio externo por lo cual se utilizaron filtros de carbón activo junto con filtros lavables que ayudan a proteger a los primeros, este juego de filtros posee una eficiencia del 98% en retención de partículas y VOC's.

8. Las dificultades en la evaluación de los costes que generan las deficiencias en materia de riesgos laborales y condiciones de trabajo y las limitaciones del modelo convencional de análisis coste-beneficio representan un reto que exige innovación para que el nuevo modelo de evaluación permita medir y demostrar la rentabilidad de todo programa preventivo, asumiendo que

éste ha de estar plenamente integrado en una política empresarial encaminada a asegurar la calidad global de productos y procesos

9. El método de Fine para la evaluación de proyectos en materia de riesgos laborales, es aceptada por muchos profesionales dedicados al tema, debido a la falta de información estadística acerca de accidentes y enfermedades, pero mas que eso es un método sencillo y muy acercado a la realidad de las situaciones que ocurren normalmente en una empresa, así revisando los valores obtenidos para el actual proyecto se debe decidir en un tiempo no muy lejano la implementación del mismo, ya que además se demostró su justificación económica utilizando la misma técnica.

10. Una adecuada gestión de la prevención de riesgos laborales es el lubricante necesario para desarrollar un plan estratégico de calidad global y de mejora de la competitividad, así como una necesaria aportación al desarrollo de la empresa, partiendo de la concepción de que su capital intelectual tiene un valor trascendental y para alcanzarlo la contribución de los trabajadores y la atención a sus condiciones de trabajo son vitales.

## **6.2 Recomendaciones**

1. Para los sistemas de ventilación por dilución es muy recomendable ubicar la extracción en zonas altas y la impulsión lo mas cerca posible de las personas con el fin de proporcionarles aire fresco para respirar y evacuar los contaminantes sin que sean captados por la personas.

2. Utilizar campanas de captura cuando se trate de extraer material particulado y tratando de llevar la boca de captación lo mas cerca de la fuente, y evitar corrientes de aire en el entorno.

3. Poner mucha atención a las velocidades de captura y transporte de los distintos materiales y contaminantes ya que una falla en esto podría resultar fatal en el diseño de todo sistema de ventilación y extracción, utilizar las recomendaciones de ACGIH, ASHRAE y OSHA, y colocar rejillas de protección para evitar riesgos personal o de los equipos.

4. Utilizar tubería galvanizada con sección circular para evitar las obstrucciones por partículas y reducir las perdidas de presión por fricción de los gases contra las paredes de la tubería y prevenir oxidación del material, y protegerlas de las corrientes estáticas para evitar posibles incendios.

5. En caso de no implementar inmediatamente el proyecto deben proporcionar a los obreros mascarillas de protección preferentemente que sean diseñadas con filtros de carbón y recomendadas por NIOSH para vapores orgánicos.

6. Llevar un control inmediato de las perdidas económicas que representan los tiempos improductivos por enfermedad y accidentes ya que es un rubro que toda empresa responsable puede ahorrarse.

7. Por todo el estudio e investigación que llevo este trabajo la principal recomendación es que se lo implemente para bienestar de los trabajadores y el ahorro de muchos recursos de la empresa,

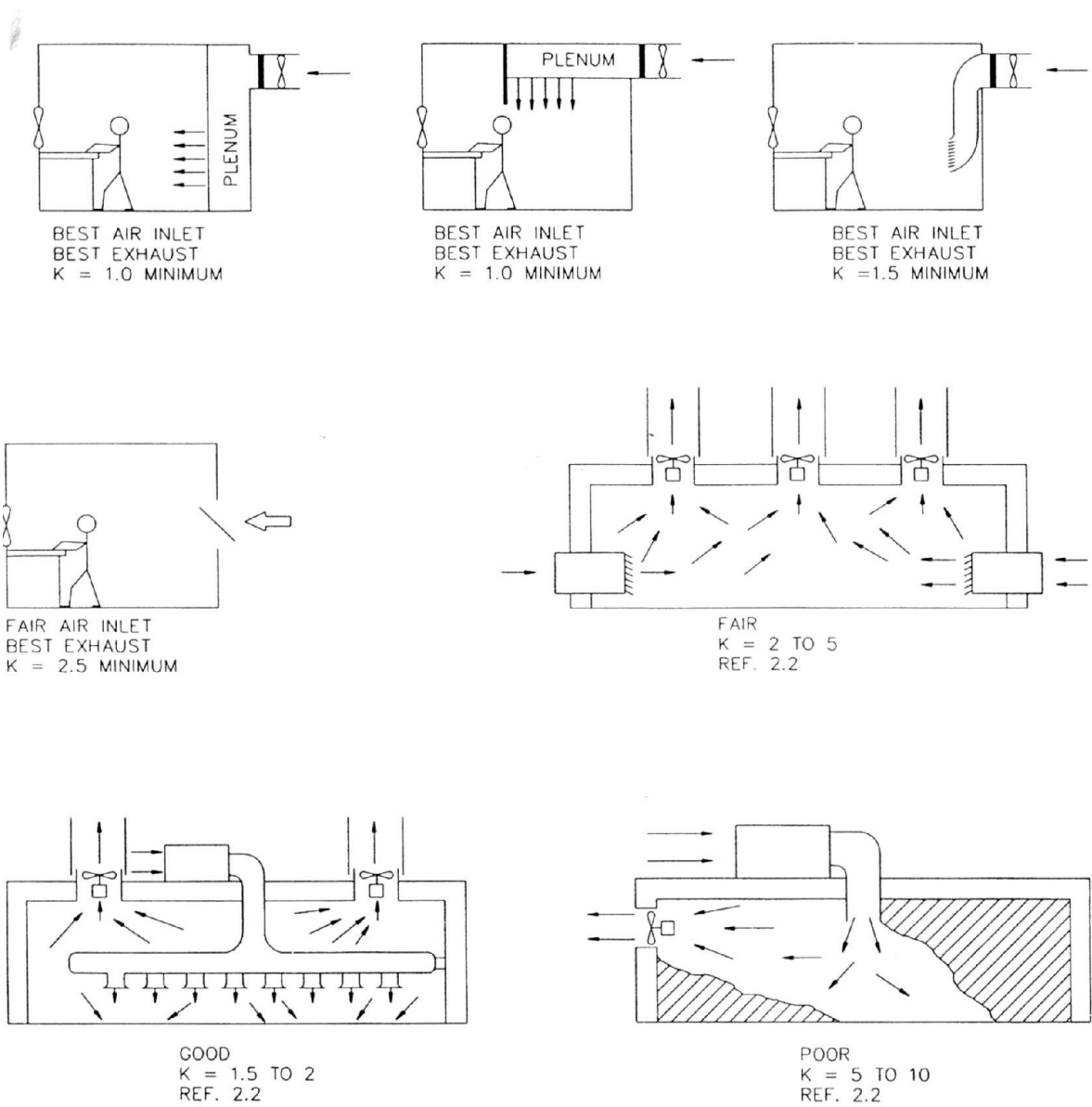
en caso de ocurrir eventos no deseados como enfermedades graves contraídas por el personal en el ejercicio de su actividad laboral.

## BIBLIOGRAFÍA

- ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA, National Safety Council, Manual de Prevención de Accidentes para Operaciones Industriales. Traducido del inglés por Diorki. 7ma ed. España, Mapfre 1997, pp 1110 – 1349
- American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers ASHRAE, Handbook of fundamentals, 1989
- Henry J. McDermontt. Handbook of Ventilation for Contaminant Control. 3ra ed. Estados Unidos de América. pp 2001. 209
- Estados Unidos de América. American Conference of Gubernamental Industrial Hygienists. Industrial Ventilation Manual. 23va ed. ACGIH Cincinnati OH 1998. pp 324.
- Carrier. System Design Manual. Load Estimating. Estados Unidos de América 22va ed. V1 pp. 89-98.
- CARNICER ROYO Ventilación Industrial Cálculo y Aplicaciones 2ed 1994
- BATURIN VV Fundamentos de Ventilación Industrial
  
- [www.acgih.org](http://www.acgih.org), Permissible Exposure Limit. Inglés. 2002
  
- [www.suinsa.com](http://www.suinsa.com). [Productos](#) Resina Poliester. Español. 2001
  
- [www.acgih.org](http://www.acgih.org), Permissible Exposure Limit. Inglés. 2002
- [www.osha.com](http://www.osha.com) . Datos de OSHA. Español. 2002
- [www.osha.com](http://www.osha.com) . La misión de OSHA. Español. 2002
  
- [www.osha.com](http://www.osha.com) . Responsabilidades del empleador. Español. 2002
  
- [www.osha.com](http://www.osha.com) . Responsabilidades del empleado. Español. 2002
  
- [www.osha.com](http://www.osha.com) . Químicos. Español. 2002
  
- [www.osha.com](http://www.osha.com) . Base Datos TLV. Español. 2002

- [www.osha.com](http://www.osha.com) . Chapter 296-62 WAC General Occupational Health Standards. Español. 2000
- [www.novachemicals.com](http://www.novachemicals.com) . Guia de seguridad de almacenamiento y manipulación. Nov 2002
- [www.osha.com](http://www.osha.com) . Datos de OSHA. Español. 2002

### ANEXO 3 Factor k, distribución de aire.



INDUSTRIAL VENTILATION A manual of recomendad practice ACGIH

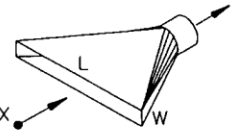
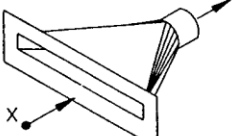
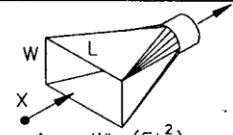
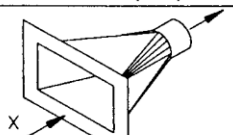
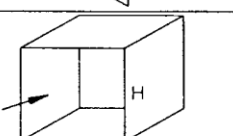
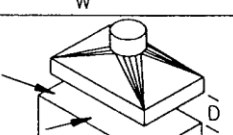
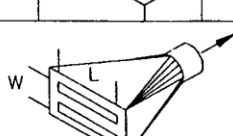
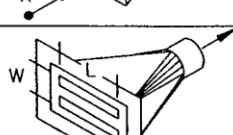


**ANEXO 4 Factor de conversión F de acuerdo al líquido utilizado por intervalo de tiempo.**

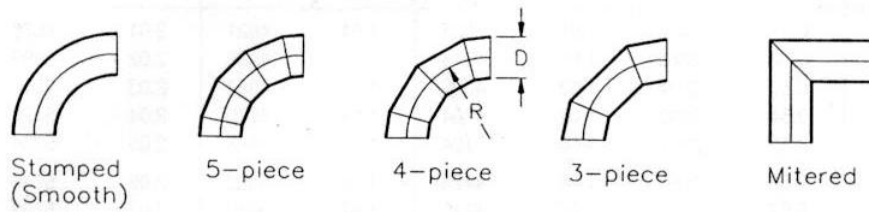
<b>Cantidad de líquido usado por intervalo de tiempo (W)</b>	<b>Factor de conversión (F)</b>
pintas/hora	6.70
pintas/minuto	403.00
galones/hora	53.70
galones/minuto	3222.00
litros/hora	14.10
litros/minuto	846.00

**Handbook of Ventilation for Contaminant Control,  
Henry J. McDermott**

**ANEXO 5 Tipos de campanas y sus relaciones matemáticas para el cálculo del caudal que manejan.**

HOOD TYPE	DESCRIPTION	ASPECT RATIO,W/L	AIR FLOW
	SLOT	0.2 OR LESS	$Q = 3.7 LVX$
	FLANGED SLOT	0.2 OR LESS	$Q = 2.6 LVX$
	PLAIN OPENING	0.2 OR GREATER AND ROUND	$Q = V(10X^2 + A)$
	FLANGED OPENING	0.2 OR GREATER AND ROUND	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$
	BOOTH	TO SUIT WORK	$Q = VA = VWH$
	CANOPY	TO SUIT WORK	$Q = 1.4 PVD$ SEE FIG. VS-99-03 P = PERIMETER D = HEIGHT ABOVE WORK
	PLAIN MULTIPLE SLOT OPENING 2 OR MORE SLOTS	0.2 OR GREATER	$Q = V(10X^2 + A)$
	FLANGED MULTIPLE SLOT OPENING 2 OR MORE SLOTS	0.2 OR GREATER	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$

**ANEXO 6** Coeficiente de perdidas en los codos.



	R/D					
	0.5	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
Stamped	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12
5-piece	—	0.46	0.33	0.24	0.19	0.17*
4-piece	—	0.50	0.37	0.27	0.24	0.23*
3-piece	0.90	0.54	0.42	0.34	0.33	0.33*

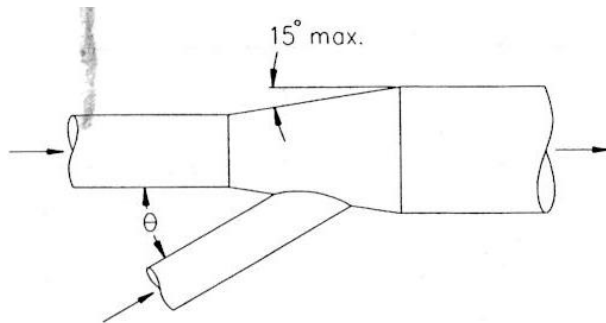
\* extrapolated from published data

OTHER ELBOW LOSS COEFFICIENTS

- Mitered, no vanes 1.2
- Mitered, turning vanes 0.6
- Flatback (R/D = 2.5) 0.05 (see Figure 5-23)

NOTE: Loss factors are assumed to be for elbows of "zero length." Friction losses should be included to the intersection of centerlines.

## ANEXO 7 Coeficiente de perdidas en las intersecciones



Note: Branch entry loss assumed to occur in branch and is so calculated.

Do not include an enlargement regain calculation for branch entry enlargements.

Angle $\theta$ Degrees	Loss Fraction of VP in Branch
10	0.06
15	0.09
20	0.12
25	0.15
30	0.18
35	0.21
40	0.25
45	0.28
50	0.32
60	0.44
90	1.00

INDUSTRIAL VENTILATION A manual of recomendad practice ACGIH

# **Anexo 1** Informe Técnico de la Calidad de Aire Ambiental en la Planta de Renovallanta

**Anexo 2** Material Safety Data Sheet of Rubber  
Solvent  
Hoja de Información de Seguridad del Solvente  
para Caucho

## **Anexo 8** Hojas técnicas de los filtros Flanders

## **Anexo 9** Hojas técnicas de los ventiladores seleccionados



# PLANOS