

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

"Diseño del Sistema de Ventilación de la Sección de Soldadura en el  
Edificio PROTMEC"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Carlos Daniel Barrezueta Zevallos

Braulio Antonio Moncada Romero

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

## AGRADECIMIENTOS

Al Msc. Gonzalo Almeida, al Msc. Gonzalo Zabala, quienes nos guiaron en este proyecto con su experiencia.

Esto es por mis padres, Carlos y Blanca, sin ellos no hubiese llegado aquí, a mis hermanas por mostrarme que puedo ser mejor cada día, a mis tías por confiar en mi desde el primer día y a Dios por darme la oportunidad de haber llegado a este momento.

- D. Barrezueta Z.

Agradezco a Dios por darme vida y salud, a mis padres Luis Moncada y Luisa Romero por su apoyo incondicional durante todo este arduo trayecto siempre inculcando la práctica de valores éticos y morales, finalmente a mi familia por la motivación y cariño necesarios para terminar mis estudios.

- Braulio Moncada

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Carlos Daniel Barrezueta Zevallos

Braulio Antonio Moncada Romero

Msc. Gonzalo Rodolfo Zabala Ortiz

El patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



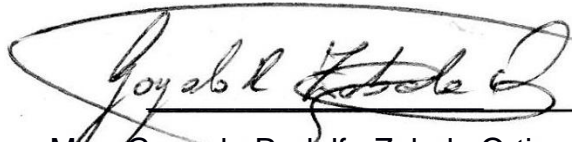
---

Carlos Daniel  
Barrezueta Zevallos  
Autor I



---

Braulio Moncada  
Moncada Romero  
Autor II



---

Msc. Gonzalo Rodolfo Zabala Ortiz  
Director

## RESUMEN

El proceso de soldadura por arco eléctrico desprende humos y gases, al ser inhalados por el ser humano durante un largo periodo de tiempo puede generarle molestias que se pueden transformar en enfermedades crónicas; por esta razón es de imperiosa necesidad diseñar un sistema de extracción para remover estos humos y gases del taller de soldadura evitando el deterioro de la salud del operario. Este sistema está constituido por campanas extractoras, ductos y ventilador extractor. Para el desarrollo de este sistema se analizará diferentes alternativas y equipos apropiados para el mismo, desarrollando matrices de decisión que ayude a seleccionar los componentes adecuados para evacuar estos contaminantes, los cuales primero serán extraídos por la campana extractora, trasladados hasta el ducto principal y expulsados a la atmosfera, tomando en cuenta el espacio físico del taller y el factor económico, ya que se presenta la oportunidad de la instalación por mejoras en el taller.

Para el diseño del sistema se usaron manuales y normas internacionales relacionadas a la ventilación industrial, considerando los contaminantes a remover mejorando la calidad del área de trabajo del operador. Estos daban pautas sobre la velocidad de captura para diferentes operaciones donde se desprendía contaminantes, los materiales de los que deben estar construidos los ductos y los ventiladores adecuados para la aplicación deseada.

Aplicando la matriz de decisión se determinó que la campana adecuada para extraer los gases es del tipo campana superior, usando ductos circulares por la presión negativa de succión que se va a manejar, siendo el material de construcción acero galvanizado y el equipo que cumple el diseño de remoción de contaminantes es un ventilador del tipo centrifugo. El diseño en un principio se consideró para un ventilador que maneje el sistema para 10 campanas, pero debido a que este tipo de ventiladores no se encuentran en el mercado local se decidió separar en dos tramos de campanas evitando caudales grandes, una vez considerado dos tramos se tiene un caudal de entrada en cada campa de 1760 [CFM], siendo el caudal a manejar por el ventilador para el Tramo 1 de 7700 [CFM], con una presión de succión de 1,7 [pulg col H<sub>2</sub>O] y para el Tramo 2 de 11220 [CFM] con una presión de succión de 2,1 [pulg col H<sub>2</sub>O].

Con estas presiones se selecciona el espesor adecuado para los ductos que es de 1,5 [mm], dado que en el mercado local se comercializa comúnmente las planchas de acero galvanizado de 1,4 y 1,6 [mm], se opta por la plancha de 1200x2400 [mm] con un espesor de 1,6 [mm].

La implementación del sistema de extracción de gases y humos de soldadura servirá para mejorar el ambiente de trabajos de los alumnos de FIMCP, también para futuros proyectos como capacitaciones en programas de soldadura que brinda la institución como servicio a empresas públicas y privadas.

Palabras Clave: arco eléctrico, humos, gases, campanas extractoras, ductos, ventilador extractor, ventilador centrifugo, ventilación industrial.

## **ABSTRACT**

*The process of arc welding produces fumes and gases, when inhaled by humans for a long period of time can generate discomfort that can be transformed into chronic diseases; there before it is imperative to design an extraction system to remove these fumes and gases avoiding the deterioration of the health's operator. This system consists of hoods, ducts and exhaust fans. For the development of this system alternatives and appropriate equipment for the same will be analyzed, developing decision matrixes that help you select the right components to evacuate these pollutants, which will first be extracted by the hood, transferred to the main duct and expelled to the atmosphere, taking into account the physical space of the workshop and the economic factor because it is an opportunity of installation by improvements in the workshop.*

*To design the system the use of manuals and international standards relating to industrial ventilation, considering remove contaminants by improving the quality of the work area of the operator. They gave us guidelines on the capture rate for operations where they gave off contaminants, materials which should be constructed ducts and fans suitable for the application desired.*

*Applying the decision matrix was determined that the appropriate hood to extract is the upper hood type, using circular ducts by negative suction pressure to be handle, being the building material galvanized steel and equipment that meets our design removal pollutant is a centrifugal type fan. The design was initially considered for a fan that manages the system for 10 hoods, but because these fans are not available in local market was decided to separate into two sections avoiding big flow, once considering two sections, each of the hoods have a flow of 1760 [CFM], where the flow rate handled by the fan for Section 1 is 7700 [CFM], with a maximum negative pressure of 1.7 [inch col H<sub>2</sub>O] and Section 2 is 11220 [CFM] with a maximum negative pressure of 2.1 [in col H<sub>2</sub>O]. With these pressures the proper thickness for the ducts is 1.5 [mm], there before is selected, since in the market galvanized steel plates of 1.4 and 1.6 [mm] is commonly marketed, you opt for grilled of 1200x2400 [mm] with a thickness of 1.6 [mm].*

*The implementation of the gas and welding fumes extraction system will improve the work environment for the students of FIMCP, also for future projects such as welding training programs offered by the institution as a service to public and private companies.*

*Keywords: metal arc, fumes, gases, range hoods, ducts, exhaust fan, centrifugal fan, industrial ventilation.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	III
ÍNDICE GENERAL.....	V
ABREVIATURAS .....	VIII
SIMBOLOGÍA .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE PLANOS .....	XIV

## CAPÍTULO 1

1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo general .....	5
1.2.2 Objetivos específicos .....	6
1.3 Marco teórico .....	6
1.3.1 Cambios de presión .....	6
1.3.2 Valores umbrales límite (TLV).....	7
1.3.3 Sistemas de ventilación.....	9
1.3.4 Ventiladores .....	14
1.4 Análisis de alternativas de solución .....	18

## CAPÍTULO 2

2. Metodología del diseño .....	22
2.1 Bases y consideraciones del diseño .....	24



2.2	Diseño de la campana .....	25
2.3	Diseño de ductos .....	29
2.3.1	Pérdidas dinámicas en la Campana.....	31
2.3.2	Pérdidas estáticas en la Campana.....	31
2.3.3	Pérdidas dinámicas en el Ducto.....	35
2.3.4	Pérdidas estáticas en el Ducto.....	35
2.4	Selección del Ventilador .....	39
2.4.1	Presión total del ventilador .....	39
2.4.2	Presión Estática del Ventilador .....	40
2.5	Especificaciones de construcción.....	41
2.5.1	Espesores de la chapa.....	41
2.5.2	Selección de proceso para unir planchas roladas .....	42
2.5.3	Soportes.....	43
2.6	Diseño de la chimenea .....	44
2.6.1	Diámetro y altura de la chimenea.....	44
2.6.2	Caída de presión en la chimenea.....	45
CAPÍTULO 3		
3.	Resultados .....	47
3.1	Análisis de Resultados.....	47
3.2	Análisis de costos .....	50
CAPÍTULO 4		
4.	Discusión y Conclusiones.....	54
4.1	Conclusiones .....	54
4.2	Recomendaciones.....	55

BIBLIOGRAFÍA.....	57
APÉNDICES .....	58

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
AWS	Sociedad Americana de Soldadura
ACGIH	Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción y Refrigeración
SMAW	Soldadura por Arco con Electrodo Metálico Revestido
TLV	Valor Umbral Límite
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas

## SIMBOLOGÍA

In	Pulgada
Ft	Pies
FPM	Pies por Minuto
CFM	Pies Cúbicos por Minuto
Pulg col H2O	Pulgadas de Columna de Agua
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo
CO	Monóxido de carbono
CO2	Dióxido de carbono
O3	Ozono
Pb	Plomo
Mo	Molibdeno
V	Vanadio
Be	Berilio
Cd	Cadmio
Al	Aluminio
Cr(VI)	Cromo Hexavalente
$V_{cap,H}$	Velocidad de captura Vertical
$\rho_{HM}$	Densidad de los Humos Metálicos
$d_p$	Diámetro de la partícula
$Q_{campana}$	Caudal de la campana de extracción
P	Perímetro
d	Diferencia en porcentaje de pérdidas en ramales
D	Diámetro de ducto
$h_e$	Pérdidas en la entrada de la campana
$h_{ef}$	Pérdidas por fricción en ducto
$F_f$	Factor de fricción
$L_d$	Longitud del ducto

$h_e$	Pérdidas por accesorios (codo de 90°,45°)
$h_{et}$	Pérdida estática total
$SP_{1A}$	Pérdida estática general en el tramo A
$SP_{2A}$	Pérdida estática general en el tramo A
$h_{eRAMAL45^\circ}$	Pérdida en la unión entre ducto principal y ducto de campana
$Q_{nuevo}$	Caudal modificado en base a presiones estáticas totales
$Q_{menor}$	Caudal correspondiente a la presión estática menor
$Q_{AB}$	Caudal entre los puntos de conexión campana-ducto
$FTP$	Presión total del ventilador
$SP_{salida}$	Presión estática a la salida de los ductos
$SP_{entrada}$	Presión estática a la entrada de la campana
$VP_{entrada}$	Presión dinámica a la entrada de la campana
$VP_{salida}$	Presión dinámica a la salida de los ductos
$FSP$	Presión estática del ventilador
$P_{rolado}$	Perímetro de rolado para la construcción del ducto
$H_s$	Altura de la chimenea
$d_{ch}$	Diámetro de la chimenea

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Causas y consecuencias de los humos de soldadura. ....	2
Figura 1.2 Cambios de presión de flujo en ducto.....	7
Figura 1.3 Sistema de ventilación. ....	10
Figura 1.4 Tipos de campana lateral y superior.....	11
Figura 1.5 Campana Móvil.....	11
Figura 1.6 Ducto rectangular.....	12
Figura 1.7 Ducto circular.....	13
Figura 1.8 Ducto ovalado.....	14
Figura 1.9 Componentes de ventilador axial.....	15
Figura 1.10 Componentes de ventilador centrífugo .....	15
Figura 1.11 Desempeño de un sistema deficiente con los efectos del ignorados.....	17
Figura 2.1 Diagrama de flujo para diseño de sistema de ventilación.....	22
Figura 2.2 Área de trabajo del operario. ....	26
Figura 2.3 Tramo de ductos para cada campana. ....	30
Figura 2.4 Cambio de sección en ductos.....	30
Figura 2.5 Ducto en el soporte.....	43
Figura 3.1 Curva de operación del ventilador para el tramo 1. ....	49
Figura 3.2 Curva de operación del ventilador para el tramo 2. ....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Valores umbrales permisibles de varios metales. ....	3
Tabla 1.2 Clasificación de agentes cancerígenos.....	3
Tabla 1.3 Rangos de muestras para zonas de respiración personal. ....	4
Tabla 1.4. Muestreo de datos de zona de aire con Cr (VI) para soldadura.....	5
Tabla 1.5 Características típicas de ventilador axial. ....	14
Tabla 1.6 Características típicas de ventilador Centrífugo.....	16
Tabla 1.7 Criterios y su valoración para matriz de decisión.....	18
Tabla 1.8 Matriz de decisión para la campana .....	19
Tabla 1.9 Matriz de decisión para los ductos.....	20
Tabla 1.10 Matriz de decisión para el material de los ductos. ....	20
Tabla 1.11 Matriz de decisión para el ventilador.....	21
Tabla 2.1 Valores a las variables de la ecuación de Dalla Valle.....	27
Tabla 2.2 Valores de las variables del caudal de la campana. ....	28
Tabla 2.3 Método para balancear presiones en ramales y ductos.....	28
Tabla 2.4 Valores de las variables para el diámetro del ducto.....	29
Tabla 2.5 Valores de datos de para obtener el diámetro del ducto.....	30
Tabla 2.6 Valores de las variables para obtener la pérdida estática total.....	33
Tabla 2.7 Resultados para el diseño de campanas. ....	35
Tabla 2.8 Valores para obtener las pérdidas estáticas totales.....	37
Tabla 2.9 Valores de datos a usarse en la ecuación (2.15). ....	38
Tabla 2.10 Valores de datos para obtener el nuevo caudal en ducto. ....	38
Tabla 2.11 Valores obtenidos para el diseño de ductos. ....	39
Tabla 2.12 Valores a reemplazar en la ecuación (2.17).....	40
Tabla 2.13 Valores de caudal y pérdidas para selección del ventilador.....	41
Tabla 2.14 Material a consumir para la construcción de los ductos.....	42
Tabla 2.15 Resultado del diseño de la chimenea. ....	45
Tabla 2.16 Caída de presión en la chimenea .....	46
Tabla 3.1 Resultados del diseño de las campanas.....	47
Tabla 3.2 Resultados del diseño en los tramos del ducto.....	48
Tabla 3.3 Resultados seleccionar el ventilador.....	48

Tabla 3.4 Costo de Materiales. ....	51
Tabla 3.5 Tabla con los costos de instalación y construcción.....	51
Tabla 3.6 Valor total de indemnización. ....	52



## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Vista Isométrica del Taller de Soldadura
- PLANO 2 Vista Superior del Taller de Soldadura
- PLANO 3 Plano de Construcción del Ducto
- PLANO 4 Plano de Construcción de la Tobera
- PLANO 5 Plano de Construcción de la Campana
- PLANO 6 Plano de Construcción del Fleje

# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

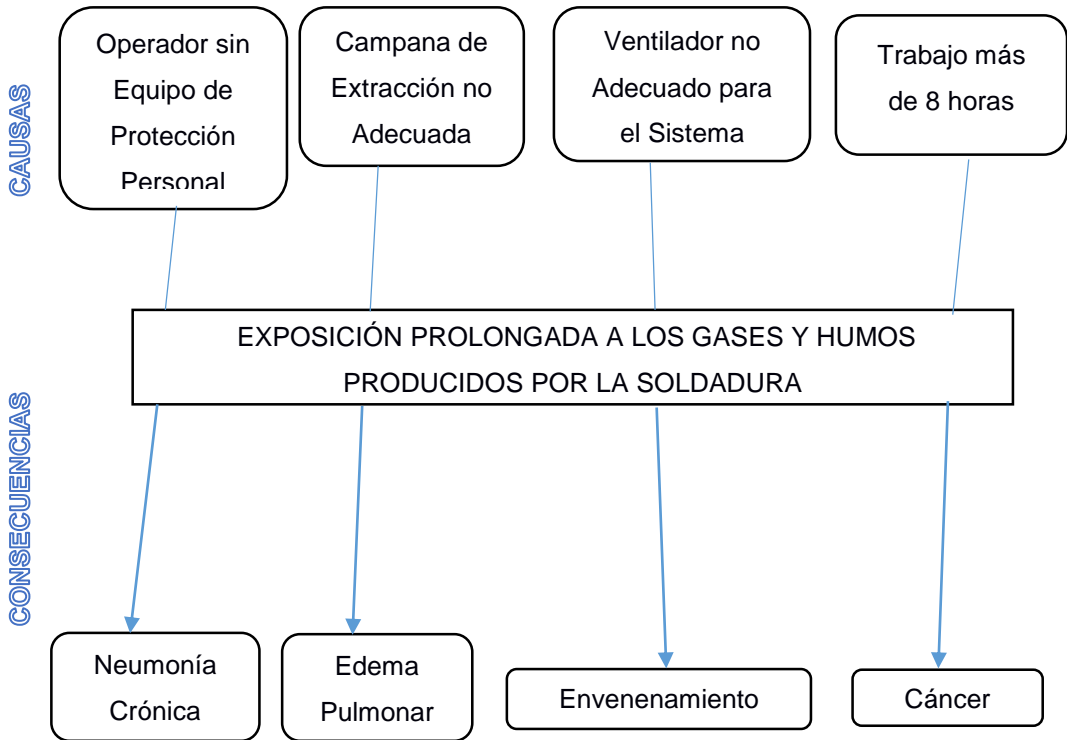
En el edificio de PROTMEC (Producción de Tecnología en Mecánica), en el laboratorio de soldadura se realizan las prácticas para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial, durante las cuales se desprenden gases y humos nocivos para la salud. El laboratorio cuenta con un sistema de ventilación no operativo, que no permite evacuar los gases adecuadamente acumulándose en las cabinas de los operadores.

La organización internacional especializada en la regulación de actividades vinculadas a la ventilación industrial, Sociedad Americana de Calefacción y Refrigeración (ASHRAE por sus siglas en inglés), indica parámetros máximos permisibles de concentración de gases y humos durante los trabajos de soldadura, además sugieren diferentes sistemas de ventilación para extraerlos. Las normas vigentes en sistemas de extracción ofrecen las pautas sobre cómo desarrollar un sistema óptimo que evite su acumulación presente en el laboratorio durante la práctica.

### 1.1 Descripción del problema

En la industria metalmecánica se utiliza la soldadura para unir permanentemente piezas metálicas, debido a que es un proceso económico y eficiente. Existen diferentes procesos de soldadura entre los cuales el más usado, por su economía y facilidad de uso, es el de Arco Revestido (SMAW, por sus siglas en inglés). El Arco Revestido tiene como objetivo fundir dos metales debido al arco eléctrico que se produce entre la pieza a soldar y el electrodo, que se genera a altas temperaturas fundiendo el material del recubrimiento, produciendo gases que si son recibidos durante un largo periodo pueden ocasionar daños a la salud, por lo que es necesario adecuar el sistema de extracción de estos gases. De acuerdo al análisis que se realizó (fig. 1.1) se puede apreciar claramente cuáles son las causas y consecuencia que origina la exposición prolongada a los gases y humos. La Sociedad Americana de Soldadura (AWS, por sus siglas en inglés) ha hecho

varios estudios sobre el efecto de los gases que se desprenden durante este proceso (Health Effects From Welding, 2014), los cuales son perjudiciales y ocasionan síntomas como: fiebre, irritación (nasal, garganta, ojos), fatiga, náuseas, dolor de cabeza; estos efectos pueden agravarse y como consecuencia ocasionar enfermedades como: neumonía crónica, edema pulmonar, envenenamiento o cáncer. Siempre que se utilice el proceso de soldadura de arco revestido se debe considerar que la producción de gases y humos es inevitable. Existen formas para evitar que afecte al operador durante su exposición a los mismos, ya sea mediante sistemas de extracción de gases y humos; hasta equipos de protección personal. La AWS sugiere también como método de prevención no exponerse más de 8 horas a esta actividad, sin embargo el incumplimiento de cualquiera de estas medidas preventivas o incluso un mal diseño del sistema de ventilación como: la campana de extracción o que el ventilador no abastezca la demanda de remoción de estos gases y humos, deja expuesto al operador causando deterioro de su salud.



**Figura 1.1** Causas y consecuencias de los humos de soldadura.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la AWS (Effects of WeldingonHealth, XIV Edition) estos gases en su mayoría son: Cromo Hexavalente (Cr [VI]),Manganeso (Mn), Berilio (Be), Cadmio (Cd),

Nickel (Ni) y Aluminio (Al). En cambio el desprendimiento de humo tiene como producto: metales pesados (Plomo, Molibdeno, Vanadio), ozono (O<sub>3</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO) y Óxido de Nitrógeno (NO), los cuales se producen cuando el material base o electrodo se funden y se vaporiza en presencia de una fuente que produce calor y este a altas temperaturas. La combinación de metal fundido con los compuestos del revestimiento del electrodo puede causar reacciones químicas que pueden cambiar la composición de las partículas de humo. Incluso cáncer puede ser desarrollado como producto de la exposición, de acuerdo a los Valores Umbrales Permisibles (TLV, por sus siglas en inglés) mostrados en la tabla 1.1, son valores de exposición permisibles dentro de un rango de tiempo de trabajo de 40 horas semanales. Estos gases entran en una clasificación de acuerdo a su toxicidad cancerígena como agentes confirmados durante una larga exposición, presentados en la tabla 1.1 y la tabla 1.2 es necesario e imperioso que se controlen de una manera eficiente bajo las normas establecidas por este organismo.

**Tabla 1.1 Valores umbrales permisibles de varios metales.**

<i>Substancias</i>	<i>Valores Umbrales Limites Promedio Ponderado en el Tiempo (8 horas) [mg/m3]</i>
<b>Aluminio</b>	1
<b>Antimonio y Compuestos</b>	0,5
<b>Arsénico y Compuestos Inorgánicos del Arsénico</b>	0,01 (A1)
<b>Berilio y Compuestos</b>	0,00005 (A1)
<b>Cadmio y Compuestos</b>	0,01 (A2) / 0,002 (A2)
<b>Cromo y Compuestos Inorgánicos del Cromo</b>	
<i>Metales y Compuestos del Cromo Trivalente</i>	0,5 (A4)
<i>Compuestos de Cromo Hexavalente Solubles en Agua</i>	0,05 (A1)
<i>Compuestos de Cromo Hexavalente Insoluble en Agua</i>	0,01 (A1)
<b>Cobalto y Compuestos Inorgánicos del Cobalto</b>	0,02 (A3)
<b>Óxido de Hierro</b>	5 (A4)
<b>Plomo y Compuestos Inorgánicos del Plomo</b>	0,05 (A3)
<b>Manganeso y Compuestos Inorgánicos del Manganeso</b>	0,02*
<b>Nickel, como</b>	
<i>Elemental</i>	1,5 (A5)
<i>Compuestos Inorgánicos Solubles</i>	0,1 (A4)
<i>Compuestos Inorgánicos Insolubles</i>	0,2 (A1)
<b>Óxido de Zinc</b>	2

Fuente: Matthew Gonser and Theodore Hogan, *Arc Welding Health Effects, Fume Formation Mechanisms, and Characterization Methods*, (2011).

**Tabla 1.2 Clasificación de agentes cancerígenos.**

<b>A1</b>	Cancerígeno Humano Confirmado
<b>A2</b>	Cancerígeno Humano Sospechoso
<b>A3</b>	Cancerígeno Animal Confirmado con Desconocida Relevancia Humana
<b>A4</b>	No Clasificable como Cancerígeno Humano
<b>A5</b>	No Sospechoso como Cancerígeno Humano

**\*ACGIH emitió una nota de cambio destinado - TLV puede reducirse**

Fuente: Matthew Gonser and Theodore Hogan, *Arc Welding Health Effects, Fume Formation Mechanisms, and Characterization Methods*, (2011).

**Tabla 1.3 Rangos de muestras para zonas de respiración personal.**

*Tiempo Promedio Ponderado De Ocho Horas (mg/m<sup>3</sup>)*

<i>Operación/proceso/material</i>	Ni	Mn	Cr	Cr(VI)
<i>SMAW de acero</i>	-	0.225	-	-
<i>SMAW de acero HY80 Y HY-100</i>	0.002-0.0047	0.0035-0.066	0.0009- 0.0021	0.0004- 0.0022
<i>SMAW de aleaciones de Nickel 600 y 625</i>	0.0025-0.057	0.0019-0.122	0.002- 0.032	0.0018- 0.058
<i>SMAW de acero inoxidable</i>	0.0007-0.0052	0.0039-0.047	0.0002- 0.034	0.0004- 0.054

Fuente: H. R. Castner And C. L. Null, *Chromium, Nickel and Manganese in Shipyard Welding Fumes*, (1998).

La tabla 1.3 indica la cantidad de contaminantes que se originan en un promedio de 8 horas durante un proceso común de SMAW para diferentes tipos de materiales a soldar, se aprecia que clase de elementos contaminantes se producen y en qué cantidad; los valores máximos que estén dentro de los rangos serán comparados con los TLV para conocer de esta forma si se necesita colocar un sistema de extracción.

En el primer caso, SMAW - acero tenemos que la producción de manganeso es de 0.225 (mg/m<sup>3</sup>) y en la tabla 1.1 para el manganeso el valor umbral máximo permisible es de 0.02 (mg/m<sup>3</sup>) por lo tanto se aprecia que excede lo permitido en este proceso. Otro ejemplo es el obtenido por SMAW - aleaciones de Nickel 600 y 625 de la tabla 1.3, que produce 0.058 (mg/m<sup>3</sup>) de Cromo hexavalente Cr (VI) que al ser comparado con el valor umbral máximo permisible de Cromo hexavalente soluble en agua 0.05 (mg/m<sup>3</sup>) y también con el insoluble en agua 0.01 (mg/m<sup>3</sup>) se confirma que se produce más cantidad de contaminantes que lo permitido por los TLV.

**Tabla 1.4. Muestreo de datos de zona de aire con Cr (VI) para soldadura.**

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de área</b>	<b>Proceso</b>	<b>Metal base</b>	<b>Metal relleno</b>	<b>TWA de Cr(VI) (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Ventilación</b>
16769	E	SMAW	Acero alta resistencia	7018-M	0,1	Dil. Nat.
16853	O	SMAW	HY100	11018 MR	0,1	VEL (2)
16888	O	SMAW	HY100	11018 MR	0	VEL (2)
16827	E	SMAW	HY100	12018-M2	1	VEL (2)
16828	E	SMAW	HY100	12018-M2	1	VEL (2)
16771	E	SMAW	CRES 309	309CB	0,6	VEL (3)
16876	E	SMAW	CRES 304	309CB	7,6	VEL (2)
16878	E	SMAW	CRES 304	309CB	7	VEL (2)
16896	E	SMAW	CRES 304	309CB	1,3	VEL (4)

Fuente: H. R. Castner And C. L. Null, *Chromium, Nickel and Manganese in Shipyard Welding Fumes*, (1998).

La tabla 1.4 indica las acciones que se deben tomar en caso de tener valores por encima del límite permisible de cromo hexavalente, según el tipo de área E para área cerrada y O para área abierta; se observa que indiferente de este tipo de área cualquier proceso de SMAW necesita de VEL (ventilación de extracción local) para funcionar dentro de los límites permisibles de contaminación.

Por este motivo se decide diseñar el sistema de extracción de gases o humos en el laboratorio de soldadura de PROTMEC para evitar que los estudiantes u operarios desarrollen alguna enfermedad relacionada a la exposición de estos gases. El diseño de este sistema de ventilación considera los requerimientos laborales pertinentes, como los niveles de contaminación adecuada, la eficiencia de remoción de los gases o humos; y criterios técnicos como construcción y económicos, debido a la selección de materiales y equipos disponibles en el mercado local.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Diseñar el sistema de ventilación para el laboratorio de soldadura en el taller de máquinas y herramientas de PROTMEC para disminuir la contaminación causada por el proceso de soldadura (SMAW).

## 1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar diseño mecánico de la campana de extracción de gases.
- Dimensionar los ductos de ventilación para extracción de gases.
- Seleccionar el ventilador basado en el caudal y presión total del sistema.
- Elaborar planos de diseño del sistema de ventilación.
- Estimar costos de la alternativa escogida.
- Analizar los resultados técnicos obtenidos.

## 1.3 Marco teórico

### 1.3.1 Cambios de presión

#### Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli se puede desarrollar al equiparar las fuerzas en un elemento de un tubo de corriente en un flujo de fluido sin rozamiento a la tasa de cambio de momento. Sobre la integración de esta relación de constante flujo, la siguiente expresión (ASHRAE FUNDAMENTALS, 2009) de la ecuación 1.1 muestra la base para mediante asunciones modelar la ecuación a nuestro caso específico:

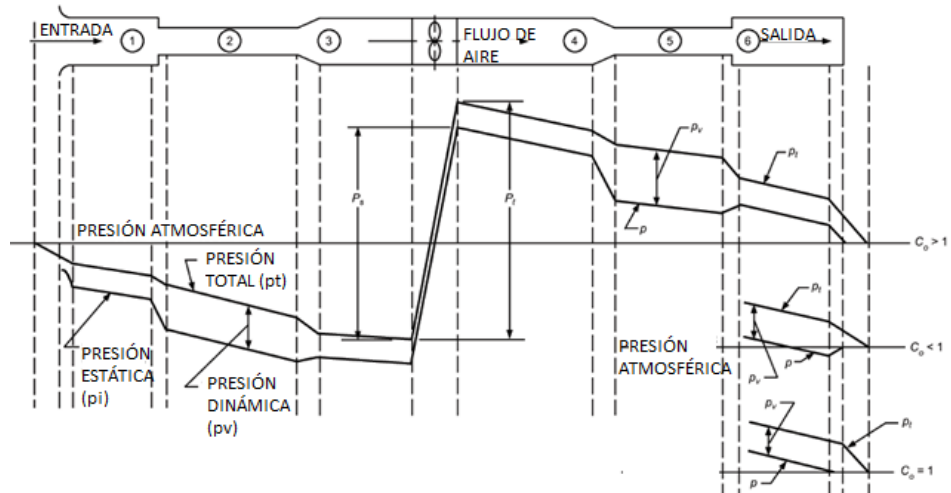
$$\frac{v^2}{2g_c} + \int \frac{dP}{\rho} + \frac{gz}{g_c} = \text{constante} \quad (1.1)$$

Se asume fluido con densidad constante en el sistema, las pérdidas totales de presión son causadas por fricción y pérdidas dinámicas entre las secciones, la presión a cualquier altura será expresada en términos de la presión atmosférica, también se debe considerar que no habrá cambios de temperatura entre las secciones; una vez realizado esto la ecuación 1.2 indica los cambios de presión total:

$$\Delta P_{t,1-2} = \left( P_{s,1} + \frac{\rho V_1^2}{2} \right) - \left( P_{s,2} + \frac{\rho V_2^2}{2} \right) + g(\rho_a - \rho)(z_2 - z_1) \quad (1.2)$$

Para todas las secciones de área constante, las pérdidas de presión total y estática son iguales. En las transiciones divergentes, la presión de velocidad

disminuye, presión total absoluta disminuye, y la presión estática absoluta incrementa. El aumento de presión estática en estas secciones es conocido como estática de recuperación.



**Figura 1.2** Cambios de presión de flujo en ducto

Fuente: ASHRAE FUNDAMENTALS (2009)

En las transiciones convergentes, la presión aumenta la velocidad en la dirección del flujo de aire, y las presiones totales y estáticas absolutas disminuyen. A la salida, la pérdida de presión total depende de la forma del accesorio y las características de flujo. La pérdida de salida de coeficientes ( $C_o$ ) puede ser mayor que, menor que, o igual a uno. El total de líneas estáticas y grado de presión para los diversos coeficientes se muestran en la figura 1.2 nótese que, para una coeficiente de pérdida de menos de uno, la presión estática aguas arriba de la salida es inferior a la presión atmosférica (negativo).

La presión estática del aire ambiente es cero; varios diámetros aguas abajo, la presión estática es negativa, igual a la suma de la presión total (negativo) y la presión de velocidad (siempre positivo). La resistencia al flujo de aire del sistema se observa por el grado de presión total en la figura 1.2.

### 1.3.2 Valores umbrales límite (TLV)

Según Arc Welding Health Effects, Fume Formation Mechanisms, and Characterization Methods, los valores umbrales límite e índices de exposición



biológica (IEB) se desarrollan como directrices para ayudar en el control de los riesgos para la salud, estos se refieren a las concentraciones de sustancias aerotransportadas y representan las condiciones en las cuales se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos día tras día sin efectos adversos sobre la salud.

Debido a la amplia variación en la susceptibilidad de cada individuo, un pequeño porcentaje de los trabajadores pueden experimentar molestias ocasionadas por sustancias en concentraciones iguales o inferiores al límite del umbral; un porcentaje menor puede ser afectado más seriamente por el agravamiento de las condiciones pre existente o mediante el desarrollo de una enfermedad profesional.

Los individuos también pueden ser hiper susceptibles o inusualmente sensibles a algunos productos químicos industriales, debido a factores genéticos, la edad, hábitos personales (fumadores, alcohol u otras drogas), medicamentos o exposiciones previas. Un médico del trabajo debe evaluar el grado de protección adicional en el cual dichos trabajadores ejerzan la actividad sin sufrir daño alguno.

Los TLV se basan en la información disponible de la experiencia industrial, también a partir de estudios experimentales con humanos; y cuando es posible, de una combinación de los dos. La base sobre la cual se establecen los valores pueden diferir de una sustancia a otra; protección contra el deterioro de la salud puede ser un factor de guía para algunos, mientras que la irritación, narcosis, molestia, u otras formas de estrés puede ser la base para otros (Industrial Ventilation, A Manual For Recommended Practice, AICGH, 1999).

La cantidad y la naturaleza de la información disponible para establecer un TLV varía de una sustancia a otra; en consecuencia, la precisión de la estimación de estos valores es también objeto a la variación. La documentación más reciente sobre los mismos debe ser consultada con el fin de evaluar el alcance de los datos disponibles para una determinada sustancia. Los TLV sirven como guía para minimizar los riesgos a la salud y se deben utilizar como directrices para buenas prácticas. A pesar de que si el deterioro de la salud de un individuo se considera grave no se cree probable que sea como resultado de la exposición a las concentraciones límite umbral, las buenas prácticas buscan mantener las

concentraciones de contaminantes atmosféricos todos tan bajas como sea práctico.

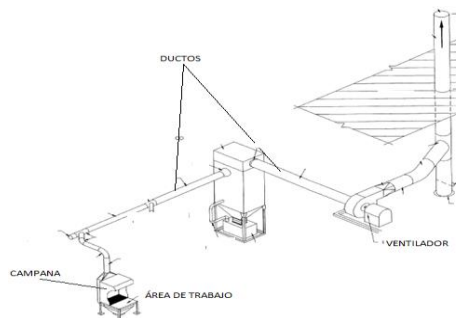
Tres categorías de valores límite umbral se especifican en el presente documento, de la siguiente manera:

1. Promedio ponderado en el tiempo (PPT), la concentración media ponderada en el tiempo para una jornada laboral normal de 8 horas y una semana laboral de 40 horas a la que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente, día tras día, sin efectos adversos .
2. Límite de Exposición a Corto Plazo, la concentración a la que los trabajadores pueden estar expuestos continuamente durante un corto período de tiempo sin sufrir de irritación, daño irreversible al tejido o narcosis del grado suficiente para aumentar la probabilidad de una lesión accidental, exponerse a peligro o reducir sustancialmente la eficiencia del trabajo, y siempre que el diario VUL - PPT no sea superado. El Límite de Exposición a Corto Plazo se define como una exposición de 15 minutos en el Promedio ponderado en el tiempo, que no debe ser superado en cualquier momento durante el día de trabajo, incluso si el valor límite está dentro las 8 horas. Estas exposiciones no deben mayores a 15 minutos y no deben ocurrir más de 4 veces al día. Debe haber al menos 60 minutos de intervalo entre exposiciones sucesivas.
3. Techo es la concentración que no debe superarse en ningún momento durante la exposición a este tipo de trabajo por ninguna sustancia, ejemplo: los gases que ocasionan irritaciones pueden ser relevantes en una categoría del valor umbral límite-techo, dependiendo de su acción fisiológica. Es importante observar que si se excede uno o cualquiera de estos tipos de VUL, alguna sustancia, el riesgo potencial se presume que existe.

### **1.3.3 Sistemas de ventilación**

Los sistemas de ventilación industrial se clasifican basados en dos propósitos principales: para crear un ambiente de trabajo cómodo y para extraer aire de

alguna área de trabajo donde se requiera reemplazar el aire. Muchas veces estos sistemas son combinados con el efecto de aprovechar las bondades de ambos. Un buen sistema de ventilación consiste en una o varias entradas de aire, equipos de calefacción o enfriamiento, ventilador, ductos y rejillas para distribuir el aire dentro del área de trabajo. A menudo los filtros, equipos de calefacción o refrigeración y ventilador son combinados en una unidad de suministro de aire. Los sistemas de ventilación de extracción de aire se clasifican en dos grupos genéricos: sistemas generales de extracción y sistemas locales de extracción (figura 1.3). El primero se puede usar para controlar el calor o remoción de contaminantes, generados en un espacio donde hay gran circulación de aire, por medio de descarga. Cuando se usa para controlar contaminación suficiente aire debe estar mezclado con el contaminante para que la concentración media sea reducida a niveles seguros.



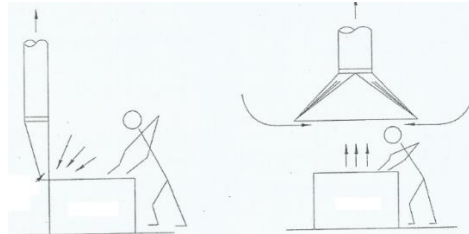
**Figura 1.3** Sistema de ventilación.

Fuente: ASHRAE Handbook—Fundamentals, 2009

La segunda subclasificación opera con el principio de capturar el contaminante lo más cerca posible de su fuente. Es el método preferido de control por ser el más efectivo para tasas de remoción bajas ya que esto resulta en bajos costos para los dispositivos de limpieza de aire. Los sistemas locales de extracción se componen de cuatro elementos básicos: la(s) campana(s), ductos (incluyendo la chimenea de escape), el dispositivo de limpieza de aire y el ventilador. El propósito de la campana es de coleccionar los contaminantes en un flujo de aire generado hacia la campana, para luego ser transportado por los ductos que lo lleva al dispositivo de limpieza de aire (si está presente) o al ventilador. El ventilador debe vencer todas las pérdidas por: fricción, entrada de la campana y accesorios mientras se mantiene la tasa de flujo designada. El ducto a la salida del ventilador

generalmente descarga el aire a la atmósfera de manera que no va a re-ingresar como sustituto (aire limpio).

### Tipos de campanas de extracción



**Figura 1.4** Tipos de campana lateral y superior.

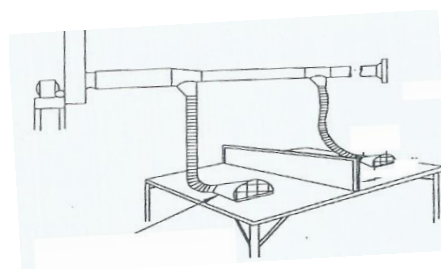
Fuente: Industrial Ventilation, A Manual For Recommended Practice, 1995

### Campana superior

Es una de las campanas de extracción de gases y humos de fácil uso, fácil instalación, bajo costo de mantenimiento y eficientes siempre que se respete que la campana debe ser colocada a una altura que sea 1,5 veces el diámetro del ducto de la campana para que el flujo desarrolle la velocidad óptima de captura permitiendo su correcto funcionamiento como se muestra en la figura 1.4.

### Campana lateral

No presenta grandes diferencias con la campana superior de extracción de gases y humos, pero una de las limitantes es que al estar en una posición lateral demanda un mayor espacio en la cabina del operador, además de aumentar la caída de presión en ductos debido a un incremento en la longitud del respectivo segmento de ducto como se muestra en la figura 1.4.



**Figura 1.5** Campana Móvil.

Fuente: Industrial Ventilation, A Manual For Recommended Practice, 1995.

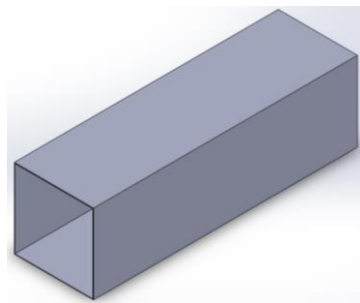
### **Campana móvil**

Este tipo de campanas es muy eficiente en cuando a la remoción de gases y humos, sin embargo tiene altos costos de mantenimiento, no es resistente a la corrosión y al ser un elemento móvil la instalación se vuelve un poco más compleja; debido a su tamaño debe estar cerca de la fuente en todo momento del proceso de soldadura como se muestra en la figura 1.5.

### **Clasificación de ductos**

La construcción de conductos está clasificado por la aplicación y la presión. Sistemas de aire acondicionado en los sectores públicos, comerciales, educativos, fábrica general, y los edificios mercantiles se diseñan generalmente como comercial. Los sistemas de control de contaminación del aire, sistemas de escape industriales y sistemas fuera del rango de presión de las normas de sistemas comerciales se clasifican como industrial.

### **Ductos rectangulares**



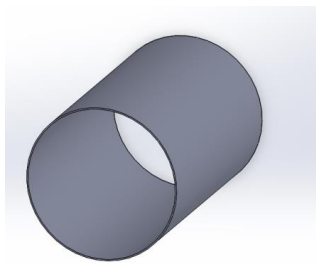
**Figura 1.6** Ducto rectangular.

Fuente: Elaboración propia.

Reciben su nombre por su geometría (figura 1.6), debido a esta forma y que son de acero se enumera los requisitos de construcción que incluyen combinaciones de espesores de cajón, refuerzo, y la distancia máxima entre los refuerzos. Las juntas transversales (por ejemplo cerraduras de bolsillo, y compañero de ángulos) y, cuando sea necesario, los miembros estructurales intermedios y barras de acoplamiento están diseñados para reforzar el sistema de conductos. En accesorios de cambio de tamaño, la mayor medida de montaje determina el

espesor del material. En caso de curvatura apropiada o miembro interno, ambos proporcionan rigidez equivalente, tales características pueden ser acreditadas como refuerzo. Estos ductos cuando son aplicados a extracción suelen sufrir deformaciones por concentración de esfuerzos en las puntas, ya que tienen un cambio de sección brusco y no suave, como ocurre en los circulares, por lo que estos no son la mejor opción para ductos de extracción.

### Ductos circulares

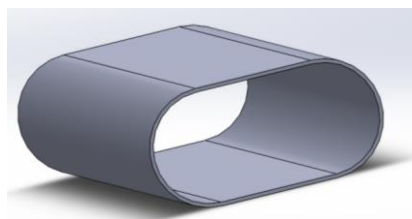


**Figura 1.7** Ducto circular.

Fuente: Elaboración propia.

Son inherentemente fuertes y rígidos, y son generalmente los conductos más eficientes y económicos para los sistemas de aire. El factor dominante en la construcción de estos es la capacidad del material para soportar el abuso físico de la instalación y los requisitos de presión negativa (figura 1.7). SMACNA (2005) enumera los requisitos de construcción como una función de la presión estática, el tipo de costura (espiral o longitudinal), y diámetro.

### Ductos ovalados



**Figura 1.8** Ducto ovalado.

Fuente: Elaboración propia.

Las costuras y juntas transversales son generalmente los mismos que los permitidos para conductos circulares. Los ductos ovalados sirven para aplicaciones de presión positiva únicamente, salvo que se utilicen diseños especiales. Los diseños de suspensión y los detalles de instalación de conductos rectangulares en general, también se aplican a los conductos de sección oval plana mostrado en la figura 1.8.

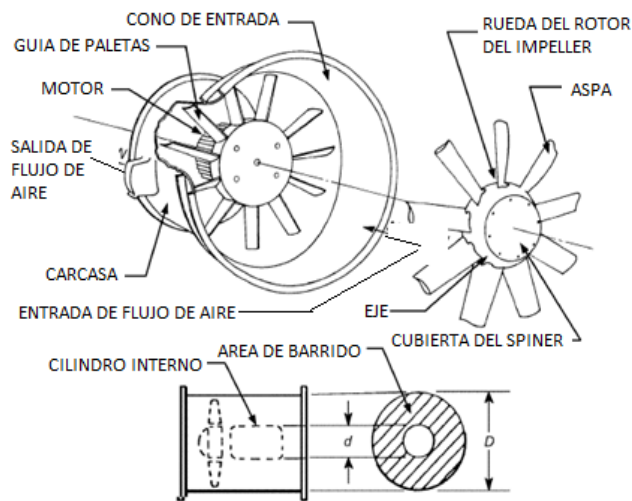
**1.3.4 Ventiladores**

Los ventiladores generalmente son clasificados de acuerdo a tipo de flujo, caídas de presión y eficiencia, estos pueden ser centrífugo o axial, de acuerdo a la dirección de flujo de aire a través del impulsor. Los componentes de un ventilador de flujo axial se muestran en la figura 1.9.

**Tabla 1.5 Características típicas de ventilador axial.**

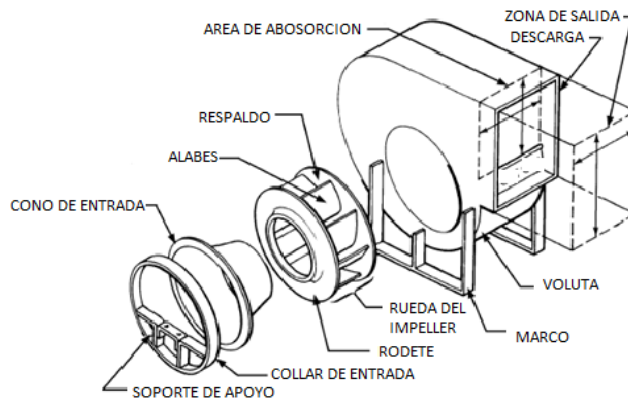
	<i><b>Eficiencia.</b></i>	<i><b>Presión.</b></i>	<i><b>Caudal.</b></i>
<i><b>Ventilador axial</b></i>	<b>Perfil alar.</b>	Alto	Alto
	<b>Curvado hacia atrás.</b>	Medio	Bajo
	<b>Radial.</b>	Medio	Bajo
	<b>Curvado hacia adelante.</b>	Bajo	Bajo

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 1.9** Componentes de ventilador axial

Fuente: ASHRAE Handbook-HVAC Systems and Equipment, 2008



**Figura 1.10** Componentes de ventilador centrífugo

Fuente: ASHRAE Handbook-HVAC Systems and Equipment, 2008

La figura 1.10 muestra la configuración general de un ventilador centrífugo. Los ventiladores centrífugos se utilizan como bombas de circulación en algunas aplicaciones industriales (tabla 1.6) como impulsores que producen la presión de la fuerza centrífuga creada por la rotación de la columna de aire contenida entre los álabes y la energía cinética impartida al aire por su velocidad a la salida del impulsor. Esta velocidad es una combinación de la velocidad de rotación del impulsor y la velocidad aerodinámica relativa al impulsor. Cuando los álabes están inclinados hacia adelante, estas dos velocidades son acumulativas; cuando están ubicadas hacia atrás, de oposición. Ventiladores de hoja curvada hacia atrás son



generalmente más eficientes que los ventiladores de la hoja curvada hacia adelante.

**Tabla 1.6 Características típicas de ventilador Centrífugo.**

<i>Ventilador centrífugo</i>		<i>Eficiencia</i>	<i>Presión</i>	<i>Caudal</i>
	<b>Hélice</b>	Bajo	Bajo	Bajo
<b>Axial en tubo</b>	Medio	Medio	Medio	
<b>Axial de paletas</b>	Alto	Alto	Medio	

Fuente: Elaboración propia.

Impulsores de ventilador de flujo axial producen presión principalmente por el cambio en velocidad del aire al pasar por las palas del rodete, con ninguno se producen por la fuerza centrífuga. Estos ventiladores se dividen en tres tipos: hélice, tubo y axial de paletas (tabla 1.5).

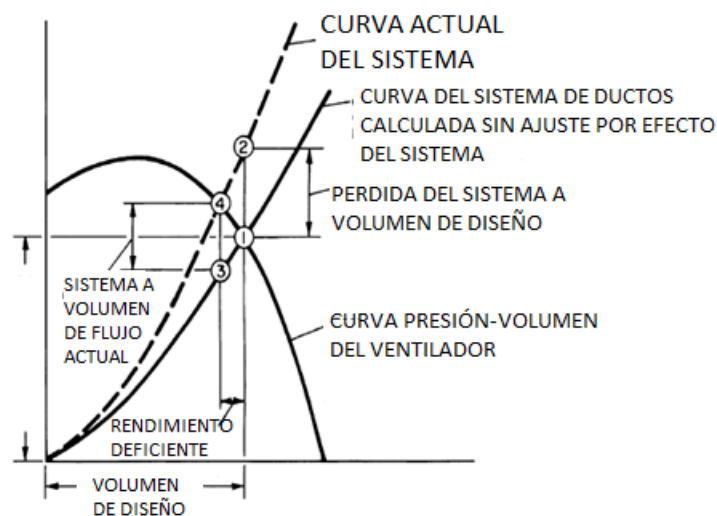
Ventiladores de hélice, habitualmente usados en o cerca de entrega de aire libre, suelen tener un pequeño impulsor de relación centro / punta montado en un anillo de placa o de la entrada del orificio. Ventiladores axiales en tubo generalmente han reducido la distancia de punta y funcionan a altas velocidades, dándoles una mayor capacidad de presión total que el ventilador de hélice. Los ventiladores axiales de paleta son esencialmente tubo ventiladores con álabes y reducido despacho de punta hoja corriente, que dan mayor presión, la eficiencia y características de ruido.

### **Interfaz del sistema**

Para seleccionar y aplicar el ventilador se debe considerar los siguientes efectos: condiciones de entrada y de salida del ventilador, deben ser considerados los datos de rendimiento del ventilador medidos en el campo y los requisitos de presión del ventilador; según los cálculos de procedimientos de diseño de conductos estándar, deben aumentarse.

Las causas más comunes de una actuación deficiente son conexiones de salida impropias, flujo de entrada no uniforme y arremolinarse en la entrada del ventilador. Estas condiciones alteran las características aerodinámicas del ventilador por lo que su potencial de flujo completo no es cumplido. Una mala conexión puede reducir el rendimiento del ventilador muy por debajo de su calificación.

Normalmente, un ventilador se prueba con entradas abiertas y una sección de recta conducto unido a la salida (ASHRAE Standard 51). Esta configuración muestra resultados en flujo uniforme en el ventilador y la presión estática eficiente la recuperación de la salida del ventilador. Si condiciones de entrada y salida buenas no son proporcionadas en la instalación real, el rendimiento del ventilador sufre.



**Figura 1.11** Desempeño de un sistema deficiente con los efectos del ignorados.

Fuente: ASHRAE FUNDAMENTALS (2009)

La figura 1.11 ilustra el rendimiento de un ventilador/sistema deficiente con pérdidas de presión que se han determinado con precisión, además de un ventilador que ha sido seleccionado para la operación en el punto 1. Sin embargo, no ha sido tomado en cuenta el efecto de las conexiones del sistema para el rendimiento del ventilador. Para compensar, un efecto de pérdida de presión en el sistema de ventilación debe ser añadido a las previamente calculadas para determinar la curva del sistema real. El punto de intersección entre la curva de

rendimiento del ventilador y la curva del sistema actual es el punto 4. El volumen de flujo real es, por lo tanto, deficiente por la diferencia de 1 a 4. Para lograr el volumen de flujo de diseño, un efecto de pérdida de presión en el sistema de ventilación igual a la diferencia de presión entre los puntos 1 y 2 deben añadirse a la calculada, las pérdidas de presión del sistema, y el ventilador debe ser seleccionado para funcionar al punto 2.

#### 1.4 Análisis de alternativas de solución

Previamente se describió los sistemas de ventilación industrial, para el diseño se decide que el sistema local de extracción es la opción viable para el proyecto por su función. Basado en el Manual de ventilación industrial (Industrial Ventilation, A Manual for Recommended Practice, 22nd Edition), de acuerdo a esto, se procede a establecerlos criterios que se van a emplear para seleccionar la mejor decisión para el diseño.

**Tabla 1.7 Criterios y su valoración para matriz de decisión.**

<b>CRITERIOS</b>		<b>VALORACIÓN</b>
<b>Fácil Instalación</b>	Dado que es un área pequeña de trabajo y es para evitar riesgos a los operarios, debe ser instalado en el menor tiempo posible.	15%
<b>Fácil Mantenimiento</b>	Este sistema requiere de un mantenimiento constante para su mejor funcionamiento y debería ser una tarea fácil.	15%
<b>Disponibilidad</b>	El mercado local por lo general no sabe tener en stock y se debe de contar con el equipo para una pronta instalación.	20%
<b>Costo</b>	En el mercado actual los costos determinan en gran parte la viabilidad de un proyecto.	20%
<b>Caída de Presión</b>	El diseño de este sistema se basa en gran parte en evitar las perdidas por presión.	30%

Fuente: Elaboración propia.

La valoración correspondiente a cada criterio viene dada por limitaciones del diseño del sistema, por ejemplo: la caída de presión (tabla 1.7) es a la cual se le das la calificación elevada porque el diseño se basa en reducir al mínimo las

pérdidas por presión, considerando: longitudes de ducto, accesorios (codos), materiales y ventilador, el cual es el equipo que contrarreste las pérdidas por fricción, por las uniones y cambios de sección. Tanto los criterios como el costo y la disponibilidad vienen relacionados directamente, ya que se selecciona del mercado local los componentes y accesorios, en base a esto se calculan las pérdidas. Finalmente el mantenimiento e instalación debe ser de la menor dificultad posible para que tenga una operación al 100% en la mayoría de tiempo de uso.

Existen varios tipos de campanas que se adaptan al sistema elegido y como en todo existen ventajas y desventajas por lo tanto para se selecciona la que mejor se ajuste a nuestros requerimientos. El método para la selección del tipo de campana que debe llevar el sistema local de extracción se realizara a través de la matriz de decisión, la cual se encuentra descrita en la tabla 1.8. Esta se desarrollara usando una calificación de 1 a 10 siendo 1 la más baja y 10 la más alta, luego esta calificación será multiplicada por la ponderación antes descrita para definir cuál es la alternativa que cumpla los criterios. Este método será tomado en cuenta para la mejor de cada uno de sus componentes.

**Tabla 1.8 Matriz de decisión para la campana**

	<i>Fácil Instalación (15%)</i>	<i>Disponibilidad (20%)</i>	<i>Costo (20%)</i>	<i>Mantenimiento (15%)</i>	<i>Caída de Presión (30%)</i>	<i>Total (100%)</i>
<b>Campana Lateral</b>	0,9	1,4	1	0,9	1,2	5,4
<b>Campana Superior</b>	1,2	1,6	1,4	1,05	2,4	7,65
<b>Campana Movable</b>	1,05	1	0,6	0,6	1,2	4,45

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que el objetivo del trabajo es diseñar un sistema de extracción para gases y humos, para evitar posible efectos de salud sobre los operarios, se consideró un sistema que sea de fácil construcción, instalación y por consecuencia se eligió el sistema con campana superior, el cual en según la Conferencia Americana Gubernamental de Higiene Industrial es la adecuada para nuestra aplicación.

Dado que los gases y humos deben ser transportados en un ambiente controlado, se tiene que seleccionar un elemento el cual cumpla con esta función para el sistema de ventilación, los ductos son lo adecuado; pero estos vienen en varias formas y esto conlleva a formar la segunda matriz de decisión. Las opciones se encuentran en la tabla 1.9 donde se elige la opción adecuada para el diseño del sistema.

**Tabla 1.9 Matriz de decisión para los ductos**

	<i>Fácil Instalación (15%)</i>	<i>Disponibilidad (20%)</i>	<i>Costo (20%)</i>	<i>Mantenimiento (15%)</i>	<i>Caída de Presión (30%)</i>	<i>Total (100%)</i>
<b>Ductos Cuadrados</b>	1,2	1,6	1,2	0,9	1,5	6,4
<b>Ductos Circulares</b>	1,2	1,6	1,6	1,05	2,4	7,85
<b>Ductos Ovalados</b>	0,75	1	1	0,75	2,1	5,6

Fuente: Elaboración propia.

La alternativa adecuada es diseñar el sistema con ductos circulares ya que su área permite un mejor desarrollo de la tasa del fluido, evita caídas de presión mayores a las deseadas, las pérdidas por fricción son menores y el manejo de áreas debido a cambios de sección es más controlable.

La siguiente decisión a tomar es la del material, de acuerdo a el manual de ventilación industrial las opciones para la construcción y diseño de los mismos se eligen dependiendo del diámetro de los ductos y la velocidad de diseño, pero esto va directamente relacionado con las pérdidas por fricción, por lo que opciones a evaluar se muestran en la Tabla 1.10.

**Tabla 1.10 Matriz de decisión para el material de los ductos.**

	<i>Fácil Instalación (15%)</i>	<i>Disponibilidad (20%)</i>	<i>Costo (20%)</i>	<i>Mantenimiento (15%)</i>	<i>Caída de Presión (30%)</i>	<i>Total (100%)</i>
<b>Acero Galvanizado</b>	1,05	1,4	1,6	1,05	1,2	6,3
<b>Acero Inoxidable</b>	0,6	1,2	0,8	0,6	2,1	5,3
<b>Acero Negro</b>	0,6	1,4	0,8	0,75	2,1	5,65

Fuente: Elaboración propia.

El material a elegir es el acero galvanizado, aunque tiene mayor pérdida por fricción para nuestro diseño, el costo y disponibilidad del material hacen que esta opción sea la más viable.

El siguiente paso es seleccionar el ventilador, en este caso de acuerdo a la aplicación y en el manual de ventilación industrial se consideran varias opciones, pero la selección del mismo se tiene en cuenta la disponibilidad en el mercado local, de acuerdo a lo antes previsto y como se observa en la Tabla 1.11 se escoge la mejor alternativa.

**Tabla 1.11 Matriz de decisión para el ventilador.**

	<i>Fácil Instalación (15%)</i>	<i>Disponibilidad (20%)</i>	<i>Costo (20%)</i>	<i>Mantenimiento (15%)</i>	<i>Caída de Presión (30%)</i>	<i>Total (100%)</i>
<i>Ventilador Axial</i>	1,2	1,6	1,6	1,2	1,8	7,4
<i>Ventilador Centrifugo</i>	1,2	1,6	1,2	1,2	2,4	7,6

Fuente: Elaboración propia.

El ventilador a elegir es el centrífugo dado por sus aplicaciones y su disponibilidad en el mercado, además de acuerdo al Manual de Ventilación se puede seleccionar uno específico a la aplicación.

De acuerdo al desarrollo de las matrices de decisión se tiene que nuestro sistema local de extracción deber ser diseñado con estos componentes:

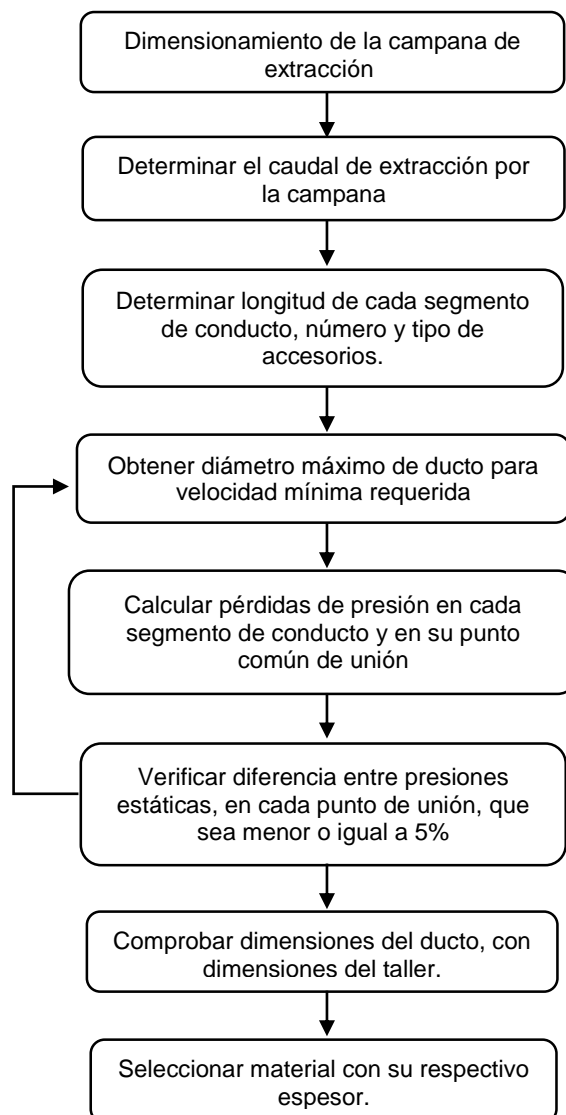
1. Campana ubicada perpendicular al área de trabajo,
2. Ductos circulares,
3. Material: Acero galvanizado,
4. Ventilador centrífugo.

Una vez definidas las componentes adecuadas a los requerimientos, que se van a usar en este sistema, se procederá al diseño del sistema.

# CAPÍTULO 2

## 2. Metodología del diseño

Para el desarrollo del diseño se seleccionó el método de velocidad constante, el cual establece una velocidad mínima de transporte de los humos y gases del sistema se establece un procedimiento que permite, de forma ordenada y eficiente, desarrollar la solución a este problema, el cual se muestra en la figura 2.1.



**Figura 2.1 Diagrama de flujo para diseño de sistema de ventilación.**

Fuente: Elaboración propia.

Se establece un procedimiento que permita de forma ordenada y eficiente desarrollar la solución a este problema, se toma en consideración asunciones que facilitan este trabajo tales como: velocidades de captura, velocidades de transporte en ductos; además de considerar efectos de las partículas que se deben remover de los gases y humos de soldadura tales como: efectos inerciales y la gravedad específica del sistema.

La campana de extracción se la dimensionada basado en las normas OHSAS (Occupational Health and Safety Assessement Series, por sus siglas en inglés). Su caudal de diseño está basado en la velocidad mínima del conducto y su área efectiva, tomando en cuenta que la velocidad en el ducto solo es importante para los sistemas de transporte de partículas, vapores de condensación o rocío y evitar concentraciones explosivas en el conducto.

Una vez realizado el diseño de la campana se prosigue con el segmento de conducto que tiene el mayor número de conductos entre él y el ventilador. Un segmento de conducto es definido como un ducto circular de diámetro constante (o un rectángulo de área constante) que separa puntos de interés como campanas, puntos de entrada y la del ventilador. Se determina el área del conducto, dividiendo el caudal de diseño para la velocidad mínima del ducto.

Utilizando el plano del taller, se determina la longitud de diseño de cada segmento de ducto, el número y tipo de accesorios que se necesitan (codos, entradas y accesorios especiales). La longitud de diseño es la línea central a lo largo del ducto (la distancia entre la intersección de las líneas centrales de las componentes de ductos). Se calculan las pérdidas de presión por los segmentos de conducto que convergen en un punto común de unión.

Directamente después de cada punto de unión, debe haber una sola presión estática (SP) sin importar el camino para llegar a ese punto. Si no se asegura por el proceso de diseño, el sistema será auto balanceado mediante la reducción del caudal en el segmento de ducto de alta resistencia e incrementar el caudal en los segmentos de ducto de baja resistencia hasta que haya una único SP en el conducto de aguas abajo de cada punto de unión.



Verifique los tamaños de conducto diseñado con el espacio disponible y resolver problemas de interferencia (es decir, el codo que se desea encaje en el espacio disponible). Esto podría causar un rediseño en partes del sistema.

Finalmente se determina el material y el espesor para cada segmento de los ductos en base a las características de corriente de aire.

## **2.1 Bases y consideraciones del diseño**

### **Efectos inerciales**

Gases, vapores y humos no exhibirán grandes valores inerciales. Además, las partículas finas de polvo de un diámetro menor o igual a 20 micrones (lo que incluye también partículas respirables) tampoco exhibirán efectos inerciales significantes.

### **Gravedad específica efectiva**

Frecuentemente en la ubicación de campanas de extracción se basa erróneamente en una suposición de que el contaminante es más pesado o más liviano que el aire. Finas partículas peligrosas de polvo, humos, vapores y gases son realmente aerotransportadas, siguiendo corrientes de aire y no están sujetas a un movimiento apreciable hacia arriba o hacia abajo debido a su propia densidad.

### **Campanas exteriores**

Son aquellas que se encuentran adyacentes a una fuente de emisión sin formar parte de él, donde el contaminante es un gas, vapor o partículas finas y no se emite con cualquier velocidad significativa, la orientación campana no es crítica.

### **Determinación de la tasa de flujo de la campana**

La velocidad de captura en la apertura cerrada será la tasa de flujo de escape dividido por el área de abertura. La velocidad de captura a utilizar será de 100 - 200 [FPM]. (Industrial Ventilation, Manual of Recommended Practice, 22nd Edition).

No hay método sencillo para el cálculo de la caída de presión de un extremo al otro de una combinación ranura- pleno. Una aproximación muy útil, aplicable a la mayoría de campanas, es diseñar para una velocidad de pleno máximo igual a la

media de la velocidad de ranura. El pleno (longitud de la campana de la cara a la campana cónica de conexión del conducto) debe ser tan largo como sea posible.

### **Velocidad mínima de ducto**

Para la manipulación de partículas del sistema, se requiere una velocidad mínima de diseño para evitar la sedimentación y la obstrucción del conducto. Por otra parte, velocidades demasiado altas son un desperdicio de energía y pueden causar una rápida abrasión de conductos. Se seleccionará la velocidad mínima de diseño de ducto de acuerdo al problema a solucionar en nuestro caso se tiene un rango de 2000-4000 pies por minuto. (Industrial Ventilation, Manual of Recommended Practice, 22nd Edition)

### **Producción de humos por soldadura**

Como resultado de la soldadura (humos metálicos y gases de soldadura) se tiene que el soldador produce 20 [gr/hr] (38,4 [kg/año]) – 40 [gr/hr] (76,8 [kg/año]). Se toma en cuenta que el operador labora 8 horas diarias, 5 días a la semana, 4 semanas al mes, 12 meses al año.

La norma F3.2/F3.2:2001 de la AWS (Ventilation Guide for Weld Fume), ofrece datos tabulados de la diferentes producción de generación de humos anuales y mensual, presentadas en la tabla 2.1.

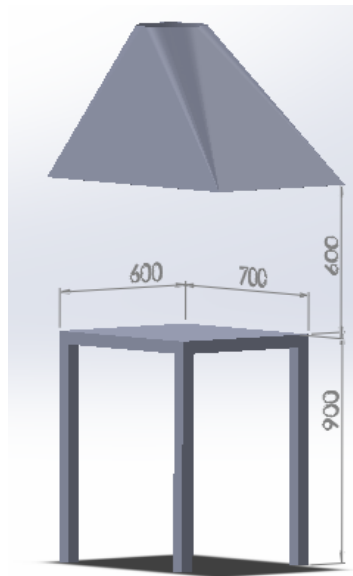
### **Densidad del polvo metálico**

Para obtener la velocidad de captación de estos gases se procede a obtener la densidad de los mismos mediante un análisis granulométrico obtenido en estudios de la AWS en un laboratorio de soldadura, por lo que se obtiene una densidad de 530 kg/m<sup>3</sup> con concentraciones de PM<sub>10</sub>= 46 µgr/m<sup>3</sup> y PM<sub>2.5</sub>= 56µgr/m<sup>3</sup>.

## **2.2 Diseño de la campana**

Para el diseño de la campana se debe tener en cuenta varios aspectos basados en normas de seguridad para asegurar la ergonomía del operador, por lo cual el área de trabajo y la distancia desde el área de trabajo hasta la campana debe estar

correctamente seleccionados. De acuerdo al CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid) se establecen parámetros para la óptima ergonomía del operador al momento de soldar, luego los indica que el área de trabajo debe ser proporcional a la distancia de trabajo (no debe ser muy grande). Teniendo presente estos parámetros se establecen dimensiones óptimas de trabajo, como primer paso para obtener el diseño de la campana.



**Figura 2.2 Área de trabajo del operario.**

Fuente: Elaboración propia.

Luego un parámetro importante en el diseño es la velocidad de captura, la cual se la obtiene mediante la ecuación de Dalla Valle (Información Tecnológica, 1998) para partículas de menos de 8mm y ductos verticales, la cual está representada mediante la ecuación (2.1).

$$V_{cap,H} = K_4 \left( \frac{\rho_{HM}}{\rho_{HM} + K_3} \right) * d_p^{0,6} \quad (2.1)$$

Donde:

$\rho_{HM}$  = Densidad de los Humos Metálicos (kg/m<sup>3</sup>).

$K_4, K_3$  = Constantes adimensionales para los gases en el SI.

$d_p$  = Diámetro de la partícula (mm).

Los valores de estas variables están presentados en la tabla 2.1:

**Tabla 2.1 Valores a las variables de la ecuación de Dalla Valle.**

$\rho_{HM}(\text{kg/m}^3)$	530
$K_4$	566
$K_3$	998
$d_p(\text{mm})$	0,3 $\mu$

Fuente: Elaboración propia.

Reemplazando los datos de la tabla 2.2 en la ecuación 2.1 se obtiene como resultado:

$$V_{cap,H} = 0,024 \left[ \frac{m}{s} \right] = 4,71 [FPM]$$

Dado que este resultado está fuera de rango se recomienda (Ventilation Guide for Weld Fume, AWS, 2001) utilizar un valor de 100 FPM para evitar un sub dimensionamiento. Una vez obtenido este resultado se comienza con el cálculo del caudal de la campana dado que con este valor se procede a dimensionar el ducto con el diámetro apropiado; un parámetro adecuado a definir es la distancia de la mesa a la campana la cual está recomendada entre (0,6-0,9) [m], se toma 0,6 [m] para evitar que el caudal se aumente y evitar caídas de presión altas. La ecuación (2.2) es utilizada para obtener el caudal de extracción (tomada de Industrial Ventilation, A Manual for Recommended Practice).

$$Q_{campana} = 1.4 * P * V * H \quad (2.2)$$

Donde:

P: Perímetro de la campana [ft].

V: Velocidad de captura [ft/min].

H: Distancia de la fuente a la campana [ft].

Los valores de estas variables están presentadas en la tabla 2.2:

**Tabla 2.2 Valores de las variables del caudal de la campana.**

P [ft]	2,12
H [ft]	2
V [FPM]	100

Reemplazando los datos en la ecuación (2.2) se obtiene como resultado:

$$Q_{campana} = 1760 [CFM]$$

En este método se comienza desde la zona más distante del ventilador donde se determina su diámetro (D) y su pérdida de presión estática (Sp) para cada campana de extracción esto debido a pérdidas a la entrada de la campana, accesorios como codos y toberas; conforme aumenta el número de campanas aumenta el caudal en cada tramo del ducto recordando siempre que se debe mantener una velocidad mayor o igual a la establecida.

Cuando se presente el caso de la unión de dos o más ramales se procede a verificar que estos cumplan con la condición de que la pérdida de presión en los ramales sean iguales o aproximadas, a continuación se presenta en la tabla 2.3, las medidas que se debe tomar en caso de que las presiones estáticas de los ductos no se encuentren igualadas.

**Tabla 2.3 Método para balancear presiones en ramales y ductos.**

	Diferencia en %	Se debe
<b>CASO 1</b>	$d \leq 5$	Balanceado
<b>CASO 2</b>	$5 < d \leq 20$	$Q_{nuevo} = \frac{Sp_{mayor}}{Sp_{menor}} * Q_{menor}$
<b>CASO 3</b>	$d > 20$	Disminuye diámetro para aumentar presión.

Fuente: Ing. Francisco Andrade, *Manual de Ventilación Industrial (2002)*.

Para el primer segmento de ducto se tiene como dato el  $Q_{campana}$  y la velocidad a la cual se transportan los gases y vapores de soldadura, con la ayuda de la ecuación (2.3) se obtendrá el área diámetro respectivo.

$$D = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*V}} \quad (2.3)$$

Donde:

$Q_{\text{campana}}$ : Caudal de absorción de la campana [CFM]

$V_d$ : Velocidad en el ducto [ft/min]

D: Diámetro del ducto [ft]

Los valores de estas están presentadas en la tabla 2.4:

**Tabla 2.4 Valores de las variables para el diámetro del ducto.**

<b>Q [CFM]</b>	<b>1760</b>
<b>V [FPM]</b>	<b>3000</b>

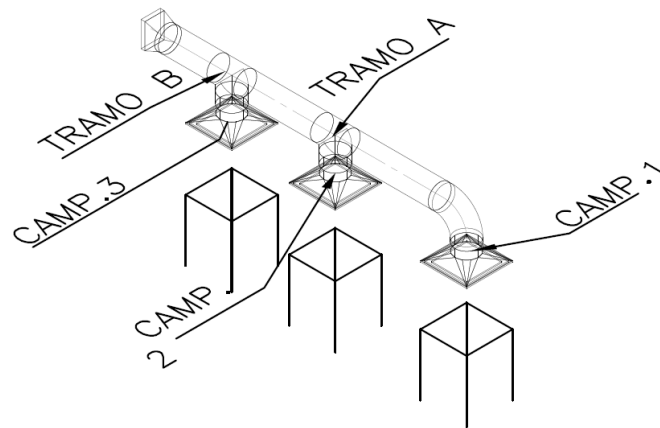
Fuente: Elaboración propia.

Reemplazando los datos en la ecuación (2.3) se obtiene:

$$D = 0,86 [ft]$$

### 2.3 Diseño de ductos

Para el diseño de los ductos del sistema de ventilación, parte del cual se presenta en la figura 2.3, se utiliza el método de velocidad constante ya que este tiene como objetivo mantener la velocidad en cualquier punto del trayecto de mayor o igual magnitud y dirección a la establecida para dicha aplicación, caso contrario en los ductos se presenta pérdidas de presión y velocidad lo que causa la acumulación de las partículas.

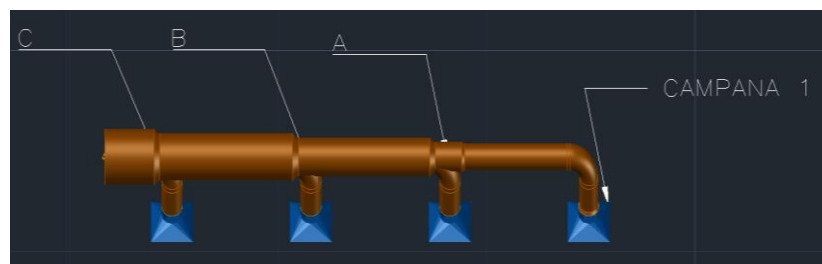


**Figura 2.3 Tramo de ductos para cada campana.**

Fuente: Elaboración propia.

### Diámetro de ducto

Para el dimensionamiento de los ductos el método a utilizar es el de velocidad constante el cual, al mantener la velocidad cambia la sección que en este caso son los ductos por los que se va a tener lo que se observa en la figura 2.4.



**Figura 2.4 Cambio de sección en ductos.**

Fuente: Elaboración propia.

Para este cálculo se aplica la ecuación (2.3), ya que una vez calculado el caudal, se procede a despejar el diámetro, dado que la velocidad que se mantiene constante. En la tabla 2.5 se muestran los resultados.

**Tabla 2.5 Valores de datos de para obtener el diámetro del ducto.**

<b>Q [CFM]</b>	<b>1600</b>
<b>V<sub>d</sub> [FPM]</b>	<b>3000</b>

Fuente: Elaboración propia.

Reemplazando los datos en la ecuación (2.3):

$$D = 0,86 [ft] = 10,32 [in]$$

### 2.3.1 Pérdidas dinámicas en la Campana

Las pérdidas debido a la velocidad de captura son importantes ya que este sistema de extracción trabaja con un diferencial de presión negativo. Estas pérdidas se las calculan para cada campana y se las considera como pérdidas de entrada o succión, explicado esto se procede a calcular mediante la ecuación (2.4).

$$Vp = \left( \frac{V_d}{4005} \right)^2 \quad (2.4)$$

El valor de  $V_d$  se lo puede encontrar en la tabla 2.6, reemplazando los datos en la ecuación (2.4) se obtiene:

$$Vp = 0,6 [pulg col H_2O]$$

Este resultado se considera aceptable para la primera campana para la caída de presión general se explicará más adelante.

### 2.3.2 Pérdidas estáticas en la Campana

Las pérdidas estáticas se presentan en cada segmento del ducto, estas pueden ser por varios factores (campanas, accesorios, fricción). Es imperioso calcularlas ya que ayuda a confirmar un sistema balanceado como se indica en la tabla 2.4. Se confirma mediante el cálculo si el sistema de ventilación se encuentra balanceado, entonces el diseño estará correcto. Este cálculo también ayuda en el dimensionamiento de los ductos, ya que si hay pérdidas grandes el ducto tendera a ser más grande y ocasionaría un sobredimensionamiento aumentando el caudal e influyendo en la selección del ventilador.



### **Pérdidas en la entrada de la campana**

Se llama así a la caída de presión que se origina al momento de absorber los gases y humos a través de la campana de extracción, se relaciona de forma proporcional con la pérdida dinámica (obtenida como resultado de la ecuación 2.4). Estas pérdidas se representan en la ecuación (2.5).

$$h_e = 0.25 * (Vp) \quad (2.5)$$

Reemplazando en la ecuación (2.5) se obtiene como resultado:

$$h_e = 0,15 \text{ [pulg col } H_2O]$$

Este resultado es aceptable, aquí influye más la presión dinámica ya que absorbe los humos, en otras palabras la campana no ofrece mayor presión oponiéndose a la extracción.

### **Pérdidas por fricción**

Es la caída de presión que se origina cuando el fluido opone resistencia mientras atraviesa el interior del ducto; conforme se incrementa el diámetro del ducto mayor es su caudal y a la vez las pérdidas por fricción disminuyen.

Para hallar este factor ( $F_f$ ) se utiliza la gráfica (se encuentra en Anexo B) mediante la cual relaciona el caudal y la velocidad del ducto, recordar que este factor debe ser multiplicado por la longitud del ducto ( $L_d$ ).

$$h_{ef} = (F_f) * (L_d) \quad (2.6)$$

Los valores de estas variables son:

$$F_f = 0.0095 \text{ [pulg col } H_2O/\text{ft}]$$

$$L_d = 6 \text{ [ft]}$$

Reemplazando los datos en la ecuación (2.6) se obtiene:

$$h_{ef} = 0.06 \text{ [pulg col } H_2O \text{]}$$

### **Pérdidas por accesorios**

Es la caída de presión relacionada con el tipo de accesorio y el ángulo al cual se encuentra unido para minimizar pérdidas, para el primer cálculo se utiliza un codo redondeado de 90°, estas pérdidas por accesorios se las obtiene por medio de la ecuación (2.7).

$$h_{e90^\circ} = 0.27 * (Vp) \quad (2.7)$$

El valor de  $V_p$  que fue previamente obtenido de la ecuación (2.4), reemplazando los datos en la ecuación (2.7) se obtiene:

$$h_{e90^\circ} = 0,16 \text{ [pulg col } H_2O \text{]}$$

Después de obtener todas las pérdidas de presión se suma todo para obtener la pérdida estática total ( $h_{et}$ ) se utiliza la ecuación (2.8):

$$h_{et} = h_e + h_{ef} + h_{e90^\circ} \quad (2.8)$$

Los valores de estas variables están presentadas en la tabla 2.6:

**Tabla 2.6 Valores de las variables para obtener la pérdida estática total.**

$h_e$ [pulg col $H_2O$ ]	0,15
$h_{ef}$ [pulg col $H_2O$ ]	0,06
$h_{e90^\circ}$ [pulg col $H_2O$ ]	0,16

Fuente: Elaboración propia.

Reemplazando los datos en la ecuación (2.8) se obtiene como resultado:

$$h_{et} = 0,37 \text{ [pulg col } H_2O \text{]}$$

Como último paso se debe sumar la pérdida estática total y la pérdida dinámica para obtener la pérdida general en el primer ramal, esto se la obtiene por medio de la ecuación (2.9).

$$S_{p1A} = Vp + h_{et} \quad (2.9)$$

Los valores de estas variables son:

$$V_p = 0,60 \text{ [pulg col H}_2\text{O]}$$

$$h_{et} = 0,37 \text{ [pulg col H}_2\text{O]}$$

Reemplazando los datos en la ecuación (2.9) se obtiene:

$$S_{p1A} = -0,97 \text{ [pulg col H}_2\text{O]}$$

El signo negativo indica que se desarrolla una presión de succión dentro del ducto.

En los siguientes resultados se consideró por pedido del administrador del taller una distribución diferente a la que se propuso por cuestiones de distribución eléctrica para los equipos de soldadura, por lo que se decidió diseñar el sistema de extracción con dos ramales los cuales tendrán un ventilador independiente que extraiga los humos. El procedimiento de diseño es el mismo para ambos ramales solo teniendo las siguientes consideraciones:

- Al Tramo 1 se conectan 4 campanas, se usaran 2 codos de 90°.
- Al Tramo 2 se conectan 6 campanas, se usaran 2 codos de 90°.

Este diseño se aplica, para minimizar las pérdidas por succión evitando una bifurcación en el ducto inicial conectado al ventilador, incluso el manual de la ACGIH indica claramente evitar este tipo de conexiones a la salida de la extracción, ya que esto afecta directamente a la eficiencia del ventilador.

En la tabla 2.7 se presentan los resultados obtenidos:

**Tabla 2.7 Resultados para el diseño de campanas.**

CAMPANA	Q (CFM)	Vd (FPM)	Dd (FT)	D (Pulg)	VP (Pulg col H2O)	h <sub>e</sub> (Pulg col H2O)	h <sub>f</sub> (Pulg col H2O)	h <sub>fr</sub> (Pulg col H2O)	h <sub>eramal</sub> (Pulg col H2O)	h <sub>et</sub> (Pulg col H2O)	SP (Pulg col H2O)	d (%)	Q <sub>nuevo</sub> (CFM)
1	1759,3	3000,0	0,86	10,4	0,6	0,1	0,2	0,06	0,0	0,3	0,9	7,3	1896,9
2	1759,3	3000,0	0,86	10,4	0,6	0,1	0,1	0,01	0,2	0,4	1,0		
3	1759,3	3000,0	0,86	10,4	0,6	0,1	0,1	0,01	0,2	0,4	1,0	9,3	1939,7
4	1759,3	3000,0	0,86	10,4	0,6	0,1	0,1	0,01	0,2	0,4	1,0	16,3	2102,1
5	1759,3	3000,0	0,86	10,4	0,6	0,1	0,2	0,06	0,0	0,3	0,9	7,3	1896,9
6	1759,3	3000,0	0,86	10,4	0,6	0,1	0,1	0,01	0,2	0,4	1,0		
7	1759,3	3000,0	0,86	10,4	0,6	0,1	0,1	0,01	0,2	0,4	1,0	9,3	1939,7
8	1759,3	3000,0	0,86	10,4	0,6	0,1	0,1	0,01	0,2	0,4	1,0	16,3	2102,1
9	1759,3	3778,0	0,77	9,2	0,9	0,2	0,2	0,01	0,2	0,7	1,5	0,9	
10	1759,3	3878,1	0,8	9,1	0,9	0,2	0,2	0,0	0,3	0,7	1,6	0,7	

Elaboración propia.

Para la siguiente parte del diseño se aplica el mismo procedimiento, consideraciones y ecuaciones, teniendo en cuenta que se tienen dos tramos independientes.

### 2.3.3 Pérdidas dinámicas en el Ducto

Este valor de pérdida dinámica asciende a 0.6 [pulg. col de H<sub>2</sub>O], obtenida de la ecuación (2.4).

### 2.3.4 Pérdidas estáticas en el Ducto

#### Pérdidas en la entrada de la campana

Este valor se lo obtiene aplicando la ecuación (2.5):

$$h_e = 0,15 [\text{pulg col H}_2\text{O}]$$

### **Pérdidas por fricción**

Así mismo como se explicó previamente al uso de la ecuación (2.6), se sigue el mismo procedimiento, cambiando la longitud del ducto la cual es:

$$F_f = 0,0095 [\text{pulg col } H_2O/\text{ft}]$$
$$L_d = 1 [\text{ft}]$$

Obteniendo como resultado:

$$h_{ef} = 0.01 [\text{pulg col } H_2O]$$

### **Pérdidas por accesorios**

Usando la ecuación (2.7), considerando un codo redondeado de 45°, se obtiene:

$$h_{e45^\circ} = 0.2 * (Vp) \quad (2.10)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (2.10) se obtiene:

$$h_{e45^\circ} = 0,12 [\text{pulg col } H_2O ]$$

Se debe considerar las pérdidas por ramal, al que se encuentra unido el codo de 45°, mediante la ecuación (2.11):

$$h_{e \text{ ramal } 45^\circ} = 0.28 * (Vp) \quad (2.11)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (2.11) se obtiene:

$$h_{e \text{ ramal } 45^\circ} = 0,168 [\text{pulg col } H_2O ]$$

Después de obtener todas las pérdidas se suman para obtener la pérdida estática total ( $h_{et}$ ), utilizando la ecuación (2.12).

$$h_{et} = h_e + h_{ef} + h_{e45^\circ} + h_{e \text{ ramal } 45^\circ} \quad (2.12)$$

Los valores de estas variables se encuentran en la tabla 2.8:

**Tabla 2.8 Valores para obtener las pérdidas estáticas totales**

$h_e$ [pulg col $H_2O$ ]	<b>0,15</b>
$h_{ef}$ [pulg col $H_2O$ ]	0,01
$h_{e45^\circ}$ [pulg col $H_2O$ ]	0,12
$h_{e\text{ ramal }45^\circ}$ [pulg col $H_2O$ ]	0,168

Reemplazando los datos en la ecuación (2.12) se obtiene:

$$h_{et} = 0,448 \text{ [pulg col } H_2O\text{]}$$

Como último paso se debe sumar la pérdida estática total y la pérdida dinámica para obtener la pérdida general en el primer ramal mediante la ecuación (2.13).

$$S_{p2A} = Vp + h_{et} \quad (2.13)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (2.13) se obtiene:

$$S_{p2A} = -1,05 \text{ [pulg col } H_2O\text{]}$$

Una vez calculada la pérdida de presión general en los dos extremos se procede a sumar los caudales para dimensionar el nuevo ducto llamado tramo AB, primero se comprueba que la variación en porcentaje de la pérdida de presión general no sea mayor del 5%; caso contrario se debe realizar lo indicado en la tabla 2.3 para esto se usa la ecuación (2.14).

$$d = \left| \frac{S_{p2A} - S_{p1A}}{S_{p2A}} \right| * 100 \quad (2.14)$$

Los valores de estas variables son:

$$S_{p1A} = -0,9 \text{ [pulg col } H_2O\text{]}$$

$$S_{p2A} = -1,0 \text{ [pulg col } H_2O\text{]}$$

Reemplazando los datos en la ecuación (2.14) se obtiene:

$$d = 7,3\%$$

Por lo tanto, este valor corresponde al caso 2 de la tabla 2.4, el cual describe que se debe aumentar el caudal de entrada aplicando la ecuación (2.15):

$$Q_{nuevo} = \frac{SP_{mayor}}{SP_{menor}} * Q_{menor} \quad (2.15)$$

Los valores de estas variables se describen en la tabla 2.9 son:

**Tabla 2.9 Valores de datos a usarse en la ecuación (2.15).**

$SP_{mayor}$ [pulg col H <sub>2</sub> O]	-1,0
$SP_{menor}$ [pulg col H <sub>2</sub> O]	-0,9
$Q_{menor}$ [CFM]	1760

Reemplazando los datos en la ecuación (2.15) se obtiene el nuevo caudal, el cual es:

$$Q_{nuevo} = 1897 [CFM]$$

Para el dimensionamiento del ducto que une el tramo 1 y 2 se debe sumar el caudal nuevo y el caudal 2, mediante la ecuación (2.16):

$$Q_{AB} = Q_1 + Q_2 \quad (2.16)$$

Los valores de estas variables están presentados en la tabla 2.10:

**Tabla 2.10 Valores de datos para obtener el nuevo caudal en ducto.**

$Q_1$ [CFM]	1897
$Q_2$ [CFM]	1760

Reemplazando los datos en la ecuación (2.16) se obtiene el nuevo caudal en el tramo AB:

$$Q_{AB} = 3657 \text{ [CFM]}$$

Para los siguientes tramos de ductos se aplica el mismo procedimiento teniendo en cuenta que estén correctamente balanceados, corrigiendo el caudal para así tener un diámetro de ducto adecuado al flujo que va a pasar por el mismo, por lo que se tiene en la tabla 2.11 los resultados para cada tramo de ducto.

**Tabla 2.11 Valores obtenidos para el diseño de ductos.**

	TRAMOS	L (ft)	Q (CFM)	$V_d$ (FPM)	$D_d$ (FT)	$D_d$ (PULG)	$VP_d$ (Pulg col H2O)	$h_{fr}$ (Pulg col H2O)	$h_f$ (Pulg col H2O)	$h_{et}$ (Pulg col H2O)	SP Ductos (Pulg col H2O)
Tramo 1	AB	5,0	3656,2	3000,0	1,2	14,9	0,6	0,05	0,1	0,10	1,1
	BC	5,0	5595,8	3000,0	1,5	18,5	0,6	0,04	0,1	0,09	1,2
	CD	5,7	7697,9	3000,0	1,8	21,7	0,6	0,04	0,2	0,19	1,4
Tramo 2	EF	5,0	3656,2	3000,0	1,2	14,9	0,6	0,05	0,1	0,10	1,1
	FG	5,0	5595,8	3000,0	1,5	18,5	0,6	0,04	0,1	0,09	1,2
	GH	13,1	7697,9	3000,0	1,8	21,7	0,6	0,09	0,3	0,39	1,6
	HI	5,0	9457,2	3000,0	2,0	24,0	0,6	0,03	0,1	0,08	1,6
	IJ	21,0	11216,5	3000,0	2,2	26,2	0,6	0,11	0,1	0,16	1,8

Fuente: Elaboración propia.

## 2.4 Selección del Ventilador

### 2.4.1 Presión total del ventilador

La caída de presión en los ductos es de gran ayuda al momento de seleccionar el ventilador adecuado para el sistema de extracción por lo cual se lo encuentra sumando las presiones estáticas y dinámicas de entrada y salida, expresada por la ecuación (2.17):

$$FTP = (SP_{salida} + VP_{salida}) - (SP_{entrada} + VP_{entrada}) \quad (2.17)$$



Donde:

$SP_{salida}$ : Presión estática de salida [pulg col H<sub>2</sub>O].

$VP_{salida}$ : Presión dinámica de salida [pulg col H<sub>2</sub>O].

$SP_{entrada}$ : Presión estática de salida [pulg col H<sub>2</sub>O].

$VP_{entrada}$ : Presión dinámica de salida [pulg col H<sub>2</sub>O].

**Tabla 2.12 Valores a reemplazar en la ecuación (2.17).**

	TRAMO 1	TRAMO 2
$SP_{salida}$ [pulg col H <sub>2</sub> O]	1,4	1,8
$VP_{salida}$ [pulg col H <sub>2</sub> O]	0,6	0,6
$SP_{entrada}$ [pulg col H <sub>2</sub> O]	-0,9	-0,9
$VP_{entrada}$ [pulg col H <sub>2</sub> O]	0,6	0,6

Reemplazando los valores en la ecuación (2.17) se obtiene la presión total del ventilador:

$$FTP_{TRAMO1} = 2,3 \text{ [pulg col H}_2\text{O]}$$

$$FTP_{TRAMO2} = 2,7 \text{ [pulg col H}_2\text{O]}$$

Este resultado es la presión a la cual nuestro sistema, muchos fabricantes de ventiladores usan esta presión para la selección del mismo pero es recomendable usar la presión estática.

#### 2.4.2 Presión Estática del Ventilador

La presión estática del ventilador es la presión total disminuida por la presión dinámica del ventilador, esta es definida como la presión que corresponde a la presión dinámica a la salida del ventilador. Esta expresada por la ecuación (2.18):

$$FSP = SP_{salida} - SP_{entrada} - VP_{entrada} \quad (2.18)$$

Los datos se obtienen de la tabla 2.12, reemplazando en la ecuación (2.18) se obtiene la presión estática del ventilador:

$$FSP = 2,1 \text{ [pulg col H}_2\text{O]}$$

Una vez obtenido este valor y con el caudal, ya calculado para los tramos del ducto, se procede a seleccionar el ventilador:

**Tabla 2.13 Valores de caudal y pérdidas para selección del ventilador.**

$Q_{\text{TRAMO1}}$ [CFM]	7700
$Q_{\text{TRAMO2}}$ [CFM]	11220
$FSP_{\text{TRAMO1}}$ [pulg col H <sub>2</sub> O]	1,7
$FSP_{\text{TRAMO2}}$ [pulg col H <sub>2</sub> O]	2,1

## 2.5 Especificaciones de construcción

El material adecuado para la construcción de los ductos será acero galvanizado, el cual es un material que actualmente en el mercado nacional se encuentra, pero este material viene de diferente espesores y el método de construcción de estos ductos es mediante rolado, el cual consiste en rolar las planchas de acuerdo al diámetro de ducto que se necesita. Ahora es necesario encontrar el espesor adecuado de ducto que vaya en concordancia con el diseño para evitar un mayor peso de los ductos. En los Anexos se encuentran los planos de construcción de las campanas y ductos.

### 2.5.1 Espesores de la chapa

Para seleccionar correctamente el espesor de la plancha a rolar, se recurre a SMACNA (Sheet Metal & Air Conditioning Contractors' National Association, por sus siglas en inglés) que indica el mínimo espesor requerido para la presión máxima que soportará el ducto. En el caso del diseño que se desarrolló se tiene un presión de vacío de 2,1 [pulgadas col H<sub>2</sub>O] en el ducto de mayor diámetro, por lo cual en la Tabla 3.2 B del manual de SMACNA dado en el Anexo A. En este se indica que el espesor a manejar para esta presión es de 1,5 [mm]. Cabe recalcar que, por el

costo de las planchas se usará el mismo para las campanas y ductos que unen campana con el ducto principal de extracción.

Para la elaboración del mismo se define cuanto material se consume en la construcción del ducto, usando la ecuación (2.19):

$$P_{rolado} = \pi * D_{ducto} \quad (2.19)$$

Los resultados para cada diámetro de ducto con su respectivo consumo de material a ser rolado se presentan en la tabla 2.14:

**Tabla 2.14 Material a consumir para la construcción de los ductos.**

	<i>D</i> (pulg)	<i>P rolado</i> (pulg)	<i>P rolado</i> (mm)
TRAMO 1	14,95	46,96	1192,81
	18,49	58,10	1475,68
	21,69	68,14	1730,80
TRAMO 2	14,95	46,96	1192,81
	18,49	58,10	1475,68
	21,69	68,14	1730,80
	24,04	75,53	1918,41
	26,18	82,25	2089,24

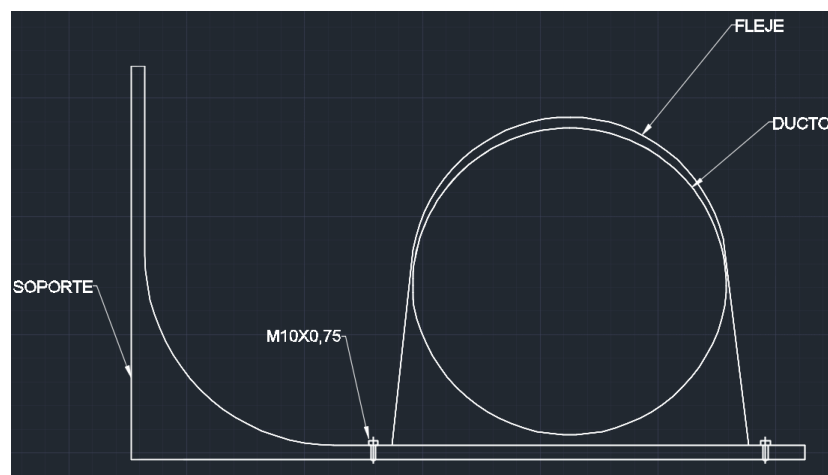
Dado que la plancha de acero galvanizado es de 1200x2400 [mm], estas dimensiones permiten determinar que se requiere de 8 planchas para la construcción de los ductos.

### 2.5.2 Selección de proceso para unir planchas roladas

El primer paso para la construcción de estos ductos es por el método de rolado, pero una vez que la plancha sea rolada para el diámetro de ducto será necesario unirlos con elemento de fijación permanente: Teniendo diferentes opciones y consultando un método fácil para unirlos se opta por los remaches y dado que los ductos tendrán 1,5 [m] de largo entre campana y campana estos serán ubicados cada 100 [mm] para tener una distribución adecuada.

### 2.5.3 Soportes

La selección de un sistema de suspensión no debe tomarse a la ligera no sólo porque se trata de una porción significativa de la mano de obra instalación del sistema, sino también por un sistema de suspensión inadecuada puede ser desastroso. Si uno de estos falla, una carga aún mayor se transfiere a la siguiente, el resultado es una falla en cascada en el que toda una carrera de conducto puede caer. El sistema de suspensión de ductos se compone de tres elementos, el de fijación superior a la construcción, el soporte y la unión inferior al conducto. Las capacidades de carga, del fabricante, y los datos de la aplicación se deben seguir para todos los dispositivos y materiales. Para ductos horizontales los apoyos deben estar ubicados cada de 2 [ft] (0,61 m) de cada codo y cada 4 [ft] (1,22 m) de cada intersección de ramal.



**Figura 2.5 Ducto en el soporte**

Fuente: Elaboración propia.

Dado que una sección de ducto recto es en realidad una viga de sección en caja de una fuerza considerable. Al igual que en muchas estructuras, la articulación es el punto más débil, de modo que es donde el apoyo debe ir. Las uniones de ductos, sin embargo, son normalmente lo suficientemente fuerte como para permitir la separación en intervalos, máximos, entre 8 [ft] (2.44 m) o 10 [ft] (3,05 m), incluso con una o dos articulaciones intermedias. Ductos anchos requieren espaciamento de suspensión más cerca, con el fin de limitar las cargas de suspensión individuales a valores seguros; también requieren soportes intermedios para evitar que la parte superior del conducto se hunda. Los sujetadores que penetran en el conducto

pueden ser tornillos de metal, remaches ciegos o tornillos metálicos autorroscantes. Además de la adecuación estructural, la elección del contratista del sistema de suspensión también debe tener en cuenta las particularidades de la estructura del edificio, las habilidades de los trabajadores, la disponibilidad de herramientas, y las recomendaciones del fabricante de las grapas.

Debido a estas variables, se sugiere que el sistema de suspensión sea la elección del contratista, sujeto a la aprobación del ingeniero mecánico. Las cifras en este manual muestran construcciones típicas de suspensión. De acuerdo a lo mencionado antes se seleccionó sostener los ductos construyendo, con una platina, soportes en ángulo de 90° empernado a la pared y con fleje de espesor 1 [mm] atornillado al ángulo, esto permitirá una fácil instalación.

## **2.6 Diseño de la chimenea**

### **2.6.1 Diámetro y altura de la chimenea**

Dado que el sistema de extraerá los humos y gases deben ir desechado fuera del área de trabajo por lo cual es necesaria una chimenea, incluso un ventilador típico tiene succión y descarga, la succión obviamente será la cual extraiga y por el funcionamiento del ventilador este expulsara por la descarga, pero debido a normas de seguridad y salud estas deben ir al menos a una altura entre 1.5 – 2 veces la altura del edificio para evitar que se acumulen o reingresen al área de trabajo. La velocidad a la salida de la chimenea debe ser al menos de entre 6 – 8 [m/s], para evitar que el desecho no sea atrapado por los vórtices de la propia chimenea a causa de la velocidad del viento. Considerando que la altura del taller es de 8 metros, se aplica la ecuación (2.20) para obtener la altura de la chimenea.

$$h_s = 8 * 1.5 = 12 [m] \quad (2.20)$$

También se considera el caudal de cada tramo para cada ventilador. Se usa la ecuación (2.21) para hallar el área de la chimenea en base al caudal que va a

expulsar el ventilador, el cual es el mismo que extrae, teniendo en la tabla 2.15 los resultados.

$$A = \frac{Q}{v_v} \quad (2.21)$$

**Tabla 2.15 Resultado del diseño de la chimenea.**

<b>TRAMO</b> 1	<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>13082</b>
	v <sub>v</sub> (m/s)	25
	A (m <sup>2</sup> )	0,415
	d <sub>ch</sub> (m)	0,43
<b>TRAMO</b> 2	Q (m <sup>3</sup> /h)	19063
	v <sub>v</sub> (m/s)	25
	A (m <sup>2</sup> )	0,212
	d <sub>ch</sub> (m)	0,46

Fuente: Elaboración propia.

En este caso se usa la velocidad del viento extrema que puede llegar a ser de 25 [m/s]. Al tener dos ventiladores se calcula para ambos, por lo que se construye las chimeneas para cada ventilador de acuerdo a lo calculado. El espesor será el mismo de las planchas que se selecciona para los ductos.

### 2.6.2 Caída de presión en la chimenea

La chimenea se la considera como un ducto el cual va unido a la salida del ventilador por un codo de 90°, por lo cual hay pérdidas por el codo y a la salida del mismo, esto hace necesario saber la caída de presión que ocurre. Para obtener este valor se usa la ecuación (2.4), transformando la velocidad del viento de 25 [m/s] a 4921 [FPM], también se toman las pérdidas por codo de 90° (ecuación (2.6)), de longitud por el alto de la chimenea (ecuación (2.7)), la caída de presión es la presión estática (ecuación (2.9)) que es mayor a la dinámica por lo cual aplicando las ecuaciones antes mencionadas se obtiene como resultado:

**Tabla 2.16 Caída de presión en la chimenea**

<b>V<sub>v</sub> (FPM)</b>	<b>4921</b>
<b>VP (PULG COL H<sub>2</sub>O)</b>	1,51
<b>H<sub>EF</sub> (PULG COL H<sub>2</sub>O)</b>	2,45
<b>H<sub>F</sub> (PULG COL H<sub>2</sub>O)</b>	0,41
<b>H<sub>ET</sub> (PULG COL H<sub>2</sub>O)</b>	2,86
<b>SP (PULG COL H<sub>2</sub>O)</b>	4,37

Fuente: Elaboración propia.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos aplicando la metodología descrita en el capítulo anterior, cumplen con estándares internacionales mínimos de higiene, cuya finalidad consiste en brindar un área de trabajo óptima para los operadores de soldadura durante su jornada de trabajo, con esto se asegura que los TLV se mantienen en rangos permisibles para el operador. También se determinó una distribución eficiente para las cabinas, evitando un incremento en las caídas de presión para lograr el objetivo deseado, esto es, extraer los humos de soldadura.

Siguiendo normas de higiene y seguridad, las campanas se la diseñaron en base al área de trabajo del operador, la cual no debe exceder las dimensiones de la misma y estar ubicada perpendicularmente a la fuente de producción de gases. En el capítulo 2 se desarrolló del diseño del sistema de extracción, se obtuvo como resultado el diámetro de los ductos principal con sus presiones, en la tabla 3.1 se observa los resultados:

**Tabla 3.1 Resultados del diseño de las campanas.**

CAMPANAS	CAMPANA	Q	D	SP	
		(M <sup>3</sup> /MIN)	(MM)	(MMH2O)	
CAMPANAS	TRAMO 1	1	49,82	263,38	23,09
		2	49,82	263,38	24,90
		3	49,82	263,38	24,90
		4	49,82	263,38	24,90
	TRAMO 2	5	49,82	263,38	23,09
		6	49,82	263,38	24,90
		7	49,82	263,38	24,90
		8	49,82	263,38	24,90
		9	49,82	243,84	39,34
		10	49,82	231,65	41,44



**Tabla 3.2 Resultados del diseño en los tramos del ducto.**

TRAMOS DUCTOS PRINCIPALES	TRAMOS	Q	D	SP
		(M <sup>3</sup> /MIN)	(MM)	(MMH <sub>2</sub> O)
TRAMO 1	AB	103,53	379,68	27,45
	BC	158,46	469,72	29,75
	CD	217,98	550,93	34,58
	EF	103,53	379,68	27,45
	FG	158,46	469,72	29,75
	GH	217,98	550,93	39,71
TRAMO 2	HI	267,80	610,65	41,76
	IJ	317,62	665,03	45,92

En la tabla 3.2 se observa el caudal de extracción de cada campana es igual 1760 [CFM] lo cual ayuda a la dilución de los humos y gases de soldadura que son extraídos, por lo cual no es de imperiosa necesidad implementar filtros o algún equipo que diluya los gases previo a ser desechados al ambiente. Luego se determinó mediante el método de velocidad constante los diámetros de los ductos principales, como se observa en las tablas 3.1 y 3.2 se dispuso de dos tramos independientes con sus respectivo ventilador debido a la cantidad de campanas conectadas a un solo ducto principal y la disposición del área del taller, esto ayudo a reducir el flujo de aire que debería remover un solo ventilador; además de variar los diámetros de los ductos, estos se ajustaron al área disponible en el taller para instalación.

**Tabla 3.3 Resultados seleccionar el ventilador.**

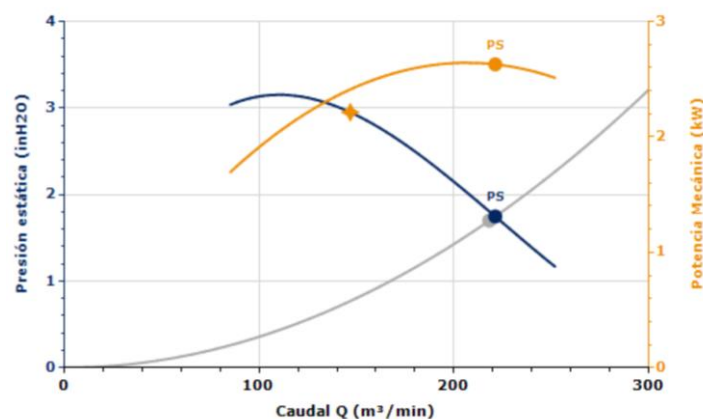
	TRAMO 1	TRAMO 2
Q (M <sup>3</sup> /MIN)	218	318
SP (MMH <sub>2</sub> O)	43	53
POTENCIA (HP)	5	7,5

El caudal de aspiración total del ventilador para el tramo 1 deberá ser mínimo de 218 [m<sup>3</sup>/min] para todo el sistema y trabajará con una presión de vacío máxima de 43 [mm col H<sub>2</sub>O] y para el tramo 2 deberá operar mínimo 318 [m<sup>3</sup>/min] y trabajará con una presión de vacío máxima de 53 [mm col H<sub>2</sub>O], bajo estos parámetros se selecciona el ventilador.

Estos resultados fueron comparados con un diseño previo que se obtuvo haciendo los cálculos para un solo tramo con las 10 campanas unidas a un ducto principal; y dado que el caudal de aspiración total y las dimensiones de los ductos aumentaban, los costos de fabricación y del equipo a seleccionar también debido a que en el mercado local no se contaba con estas restricciones, por lo tanto el diseño final se consideró como se explica en el capítulo 2.

La selección de los ventiladores adecuados se hizo mediante el manual de la empresa Sodeca, la cual tiene una gama de productos en lo que respecta a ventilación industrial. Bajo el requerimiento del caudal de extracción para el Tramo 1 de los ductos de extracción se tiene que el ventilador centrífugo modelo CDXRT-450-4, en la figura 3.1 se observa su curva de operación y el punto de diseño del sistema de extracción para el taller de soldadura.

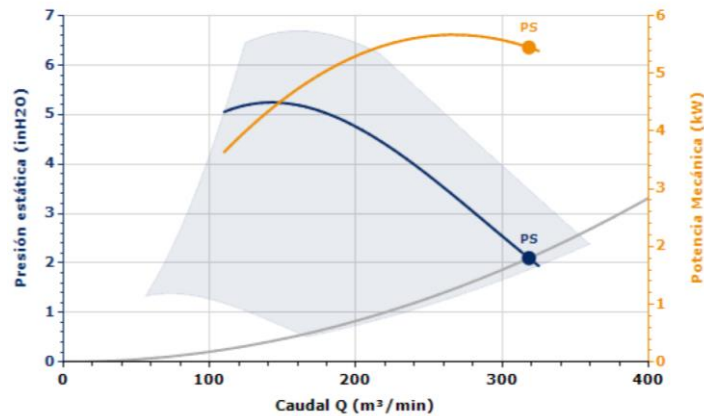
**Figura 3.1 Curva de operación del ventilador para el tramo 1.**



Fuente: Software Quickfan, Sodeca.

En cambio para el Tramo 2 el ventilador que cumpla con el requerimiento del caudal a extraer es el modelo CDXRT-450-10, en la figura 3.2 se observa su curva de operación y el punto de diseño del sistema de extracción para el taller de soldadura.

**Figura 3.2 Curva de operación del ventilador para el tramo 2.**



Fuente: Software Quickfan, Sodeca.

En Anexos D se encuentran los detalles de cada ventilador.

La importancia del diseño del sistema de extracción consiste en evitar que los operarios del taller de soldadura desarrollen enfermedades por lo que es necesario instalarlo, a continuación se presenta los costos del proyecto, teniendo en cuenta que lo necesario es evitar enfermedades en los operarios.

### **3.2 Análisis de costos**

Para la construcción del sistema y sus elementos se consideraron los costos en el mercado local, mostrados en la tabla 3.4. Dado que se desarrolló el diseño del sistema de extracción de gases y humos, se debe considerar su instalación; en esta se incluyen los puntos antes mencionados al final del capítulo 2 (espesor de la chapa, soportes, etc), incluyendo la construcción de los ductos, sin pasar por alto la instalación eléctrica para el ventilador y por último la mano de obra para la instalación del proyecto. Estos valores dados son ajustados al mercado actual pero para un proyecto se podrían negociar los valores finales para que se ajusten al presupuesto de ejecución del mismo.

**Tabla 3.4 Costo de Materiales.**

<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD (UNIDADES)</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>PVP</b>
<b>PLANCHAS ACERO GALVANIZADO (1,6 MM)</b>	22	\$ 32,50	\$ 715,00
<b>FLEJES (1,10 MM)</b>	8	\$ 18,18	\$ 145,44
<b>REMACHES(1/8 X1/4)</b>	200	\$ 0,14	\$ 28,00
<b>PERNOS (M10)</b>	40	\$ 0,27	\$ 10,80
<b>PIE DE AMIGO (800X800 MM)</b>	8	\$ 11,71	\$ 93,68
<b>VENTILADOR CDXRT-450-4</b>	1	\$ 9.427,62	\$ 9.427,62
<b>VENTILADOR CDXRT-450-10</b>	1	\$ 12.570,17	\$ 12.570,17
<b>CABLE ELECTRICO #8</b>	45	\$ 1,33	\$ 59,89
<b>BRIDAS (DIFERENTES DIAMETROS)</b>	16	\$31,48	\$ 503,68
		<b>Sub Total</b>	\$ 23.554,28
		<b>IVA 14%</b>	\$ 3.730,76
		<b>Total</b>	\$ 27.285,44

Fuente: Elaboración propia.

Dado que se requiere la instalación del sistema, se estimó costos de construcción e instalación.

**Tabla 3.5** Tabla con los costos de instalación y construcción.

<b>INSTALACIÓN</b>	<b>COSTO</b>
<b>DUCTERO</b>	\$ 200,00
<b>ELECTRICO</b>	\$ 450,00
<b>MONTAJE</b>	\$ 1200.,00
<b>TOTAL</b>	\$ 1.850,00

Fuente: Elaboración propia.

El costo total del proyecto asciende a USD 29.135,44 \$.

El objetivo de este análisis es determinar si el proyecto representa un beneficio para la empresa considerando el costo del mismo para ponerlo en marcha, para dicha acción se recurre al Código De Trabajo vigente desde el 2015 hasta la actualidad para el respectivo análisis.

En el artículo 363 del código de trabajo se indica la clasificación de las enfermedades profesionales, entre las cuales se describe a la siderosis como es una forma especial de neumoconiosis causada por inhalación de polvo de hierro afectando de forma directa a trabajadores de soldadura por arco; una vez ubicado el caso, se procede al cálculo de la respectiva indemnización para el soldador que se trata de la misma forma sea o no afiliado al IESS.

El artículo 369 cita textualmente:

Art. 369.- Muerte por accidente de trabajo.- Si el accidente causa la muerte del trabajador y ésta se produce dentro de los ciento ochenta días siguientes al accidente, **el empleador está obligado a indemnizar a los derechohabientes del fallecido con una suma igual al sueldo o salario de cuatro años.**

Este es el escenario más grave que se puede presentar en caso de no tener el sistema de extracción de gases y humo de soldadura, por lo tanto se procede a calcular cuánto perdería la empresa si ocurre lo antes mencionado.

Los valores correspondientes a la indemnización se muestran en la tabla 3.3:

**Tabla 3.6** Valor total de indemnización.

<i>Trabajador</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Sueldo/mes</i>	<i>Sueldo/año</i>	<i>Sueldo/ 4 años</i>	<i>Indemnización</i>
<i>Soldador</i>	10	\$ 400,00	\$ 48.000,00	\$ 192.000,00	\$ 230.400,00
<i>Supervisor</i>	1	\$ 800,00	\$ 9.600,00	\$ 38.400,00	

Fuente: Elaboración propia.

Este resultado se utiliza junto con el valor del sistema de extracción para mediante un análisis beneficio - costo el cual consiste en dividir los valores correspondientes a la indemnización para el costo del sistema, en caso de resultar esta relación mayor que 1 se comprueba que implementar este proyecto trae un beneficio a la compañía.

$$\frac{\textit{Beneficio}}{\textit{Costo}} = \frac{230.400,00}{29.135,44} = 8 (> 1)$$

El valor obtenido de la relación beneficio costo es de 8 siendo este mayor que 1 por lo tanto se concluye que el proyecto tiene rentabilidad.

# CAPÍTULO 4

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se comprobó que al tener elementos contaminantes como Cromo, Cromo hexavalente, Manganeso y Níquel que sobrepasan los valores umbrales límites en el proceso SMAW se requiere colocar su respectiva ventilación de extracción local para la correcta dilución de los gases y humos de soldadura.
- El sistema de extracción diseñado cumple con las normas estandarizadas avaladas por organizaciones especializadas tanto en ventilación como en seguridad industrial. La campana de extracción se diseñó en acero galvanizado de acuerdo a la norma INSHT que cumple con requerimientos de ergonomía y seguridad industrial.
- La ACGIH recomienda diferentes caudales dependiendo del diámetro del electrodo, estos están en un rango de 1000 – 1500 [CFM], el caudal calculado que la campana extrae es de 1760 [CFM] asegurando la remoción total de estos contaminantes del área de trabajo.
- Se compararon dos alternativas para el sistema de extracción, el primero fue descartado debido al caudal y presión estática elevados que necesitaba, dificultando la adquisición del ventilador en el mercado local. Otro inconveniente fue el dimensionamiento de ductos ya que al manejar grandes caudales requerían más espacio del que se disponía en el taller de soldadura haciendo de esta opción la menos viable. La segunda opción fue la de dividir el sistema en dos tramos independientes entre sí, logrando una reducción considerable en el dimensionamiento y costos de fabricación de ductos, además de la presión de operación que debe proveer el ventilador.

- Para verificar la viabilidad del proyecto, objeto del presente estudio, se realizó un análisis mediante el cual se utilizó una relación costo – beneficio válido para el presente caso en particular. La relación 8 indica que la implementación de este sistema traerá beneficios económicos a la institución además de lo concerniente a seguridad y salud ocupacional.
- El uso de un depurador (como un lavador de Venturi), no es necesario para esta aplicación dado que los gases y humos de soldadura no presentan compuestos volátiles y no transportan virutas.
- La presión en la chimenea a la salida del ventilador es mayor que la de succión, dado que el diámetro del ducto principal es mayor; con lo cual se asegura que los gases y humos saldrán expulsados por el ventilador ya que la chimenea se encuentra abierta al ambiente.

## **4.2 Recomendaciones**

- Cuando se realiza esta clase de actividades se debe considerar el equipo de protección personal ya que trabajar con soldadura no solo presenta contaminación por inhalación de gases y humos, sino también la radiación que se desprende con el arco eléctrico puede perjudicar la visión y usar la indumentaria adecuada para evitar quemaduras por el desprendimiento de viruta.
- Se recomienda que las campanas de extracción estén ubicadas de tal forma que no existan bifurcaciones a la entrada del ducto que conecta al ventilador, además de evitar el uso de accesorios como uniones en T o cambios de secciones muy pronunciados ya que estos factores incrementan la caída de presión del sistema volviéndolo ineficiente.
- Se sugiere que el ambiente de trabajo tenga la mayor cantidad de aperturas como ventanas, que permitan la recirculación apropiada de aire favoreciendo así las renovaciones del taller de soldadura.



- Los equipos de ventilación que serán instalados en la parte exterior del taller de soldadura utilizarán una cimentación debido a su gran peso, además de que estos equipos producen vibraciones.
- Los resultados obtenidos del diseño pueden ser usados para una implementación del sistema en el taller para obtener un mejor ambiente de trabajo para los operarios.

# BIBLIOGRAFÍA

1. Industrial Ventilation, *A Manual For Recommended Practice*, 22<sup>nd</sup> Edition, (1995), Cincinnati, Ohio.
2. Andrade Francisco, *Ventilación Industrial* (2007).
3. Matthew Gonser and Theodore Hogan, *Arc Welding Health Effects, Fume Formation Mechanisms, and Characterization Methods*, (2011).
4. AWS, *Ventilation Guide for Weld Fume* (2001).
5. AWS, *Effects of Welding on Health, XIV* (2011).
6. ASHRAE, *Handbook-HVAC Systems and Equipment* (2008).
7. SMACNA, *HVAC Duct Construction Standards, Metal and Flexible* (1995).
8. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), *Recomendaciones de Normas de Seguridad en Soldadura*, España.
9. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, *NTP 494: Soldadura eléctrica al arco: normas de seguridad*, España.
10. Norma OSHA, *OSHA 3573-09R* (2015), Estados Unidos.
11. Norma de Calidad del Medio Ambiente, *Libro VI Anexo 4*.

# APÉNDICES

**APÉNDICE A**  
**Planos Esquemáticos**

**APÉNDICE B**  
**Tablas de Manual SMACNA**

## APENDICE B

Tablas tomadas del manual de SMACNA, sobre espesores para planchas de acero galvanizado

GALVANIZED SHEET THICKNESS TOLERANCES										
Gage	Thickness in Inches			Weight				Thickness in Millimeters		
	Min.	Max.	Nom.	Min. lb/sf	Nom. lb/sf	Max. lb/sf	Nom. kg/m <sup>2</sup>	Min.	Max.	Nom.
33	.0060	.0120	.0090	.2409	.376	.486		.1524	.3048	.2286
32	.0104	.0164	.0134	.4204	.563	.665		.2642	.4166	.3404
31	.0112	.0172	.0142	.4531	.594	.698		.2845	.4369	.3607
30	.0127	.0187	.0157	.5143	.656	.759	3.20	.3188	.4783	.3988
29	.0142	.020	.0172	.5755	.719	.820		.3569	.5169	.4369
28	.0157	.0217	.0187	.6367	.781	.881	3.81	.3950	.5550	.4750
27	.0172	.0232	.0202	.6979	.844	.943		.4331	.5931	.5131
26	.0187	.0247	.0217	.7591	.906	1.004	4.42	.4712	.6312	.5512
25	.0217	.0287	.0247	.8407		1.167		.5274	.7274	.6274
24	.0236	.0316	.0276	.9590	1.156	1.285	5.64	.6010	.8010	.7010
23	.0266	.0346	.0306	1.0814		1.408		.6772	.8772	.7772
22	.0296	.0376	.0336	1.2038	1.406	1.530	6.86	.7534	.9534	.8534
21	.0326	.0406	.0366	1.3263		1.653		.8296	1.0296	.9296
20	.0356	.0436	.0396	1.4486	1.656	1.775	8.08	.906	1.106	1.006
19	.0406	.0506	.0456	1.6526		2.061		1.028	1.288	1.158
18	.0466	.0566	.0516	1.8974	2.156	2.305	10.52	1.181	1.441	1.311
17	.0525	.0625	.0575	2.1381		2.546		1.331	1.591	1.461
16	.0575	.0695	.0635	2.342	2.656	2.832	12.96	1.463	1.763	1.613
15	.0650	.0770	.0710	2.6481		3.138		1.653	1.953	1.803
14	.0705	.0865	.0785	2.8725	3.281	3.525	16.01	1.784	2.204	1.994
13	.0854	.1014	.0934	3.4804		4.133		2.162	2.5823	2.372
12	.0994	.1174	.1084	4.0516	4.531	4.786	22.11	2.523	2.983	2.753
11	.1143	.1323	.1233	4.6505		5.394		2.902	3.362	3.132
10	.1292	.1472	.1382	5.2675	5.781	6.002	28.21	3.280	3.740	3.510
9	.1442	.1622	.1532	5.8795		6.614		3.661	4.121	3.891
8	.1591	.1771	.1681	6.4874	6.875	7.222		4.040	4.500	4.270

### NOTES:

- Based on ASTM A924/924M-94, Standard Specification for General Requirements for Sheet Steel, Metallic Coated by the Hot-Dip Process (formerly ASTM A525); and ASTM A653/A653M-94, Standard Specification for Sheet Steel, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy Coated (Galvanized) by the Hot-Dip Process.
- Tolerances are valid for 48" and 60" wide coil and cut length stock - other dimensions apply to other sheet widths and to strip.
- The lock forming grade of steel will conform to ASTM A653 (formerly ASTM A527).
- The steel producing industry recommends that steel be ordered by decimal thickness only. Thickness and zinc coating class can be stenciled on the sheet. The gage designation is retained for residual familiarity reference only.
- Minimum weight in this table is based on the following computation:  
Minimum sheet thickness minus 0.001" of G60 coating times 40.8 lb per s.f. per inch plus 0.0369 lb/sf of zinc.  
G90 stock would be comparably calculated from:  
(t - .00153") 40.8 ÷ 0.0564 = minimum weight.  
However, scale weight may run 2% (or more) greater than theoretical weight. Actual weight may be near 40.82 lb. per s.f. per inch.
- G60 coating, per ASTM A653 and ASTM A90, has 0.60 oz/sf (triple spot test) total for two sides. 0.59 oz/sf of zinc equals 0.001". 1 oz is 0.0017" and is 305.15 g/m<sup>2</sup>.  
G90 coating is 0.90 oz/sf (triple spot test), or 0.00153". Magnetic gage measurement of zinc coating may have 15% error.
- ASTM A2092, Practices for Preparation of Zinc-Coated Galvanized Steel Surfaces for Paint, includes mill phosphatizing.
- ASTM A755 is the Specification for Sheet Steel, Metallic Coated by the Hot-Dip Process and Preprimed by the Coil-Coating Process for Exterior Building Products. Other information is available from the National Coil Coaters Association, Philadelphia, PA.
- Much chemical and atmospheric corrosion information is available from ASM International in Metals Park, Ohio and from NACE International in Houston, TX.
- A principle international standard is ISO 3575, Continuous Hot-Dip Process, Zinc-Coated Carbon Steel Sheet of Commercial, Lock Forming and Drawing Qualities.

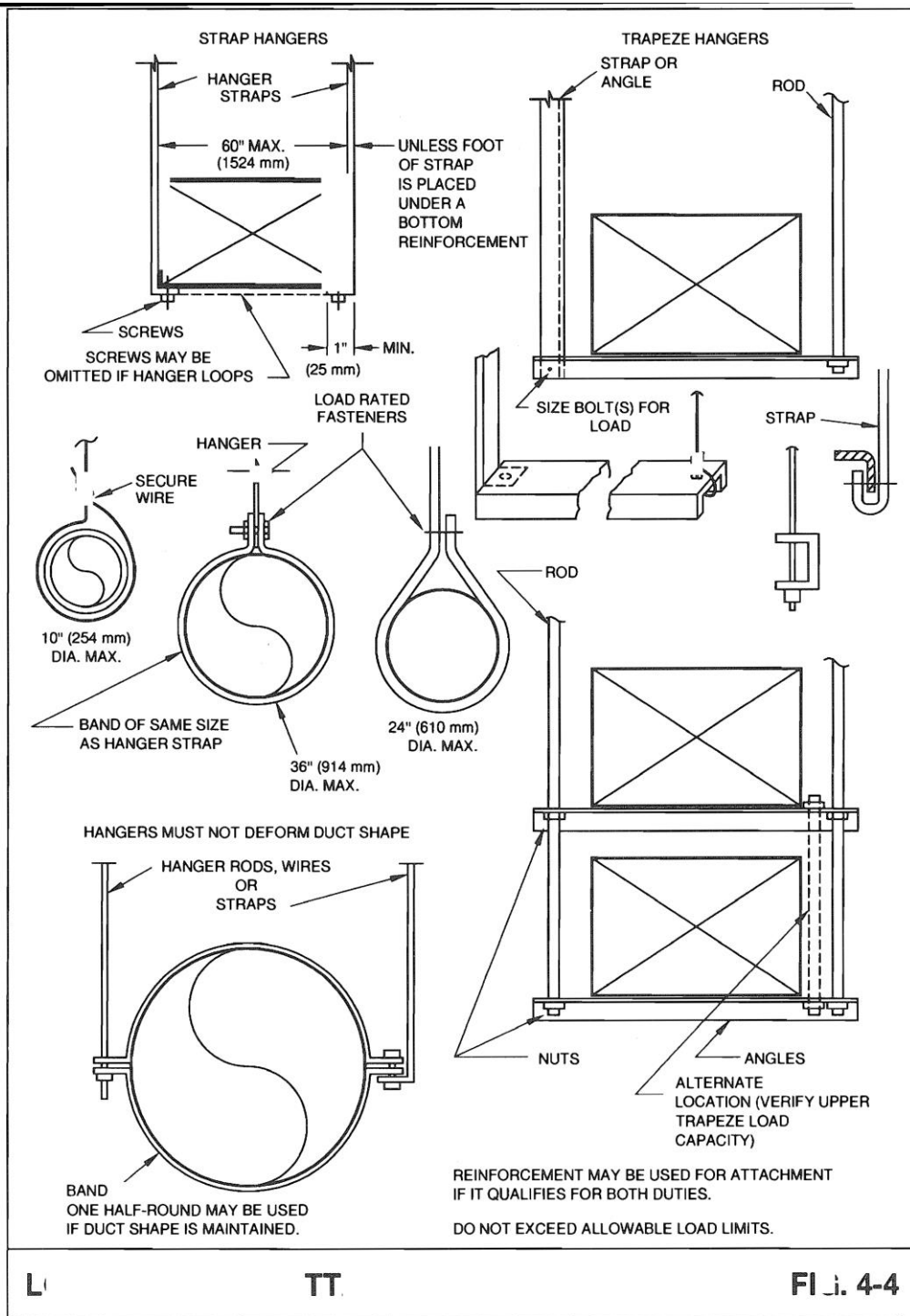
TABLE 3-2B ROUND DUCT GAGE NEGATIVE PRESSURE						
MAX. DIA.	-2" w.g.		-4" w.g.		-10" w.g.	
	Spiral Seam	Long. Seam	Spiral Seam	Long. Seam	Spiral Seam	Long. Seam
6"	28	28	28	28	26	26
7"	28	28	28	28	26	26
8"	28	28	28	28	26	26
9"	28	28	28	26	26	24
10"	28	28	26	26	26	22
11"	28	26	26	24	26	22
12"	28	26	26	24	24	22
13"	28	26	26	24	24	20
14"	28	24	24	22	24	20
15"	28	24	24	22	22	20
16"	26	24	24	22	22	18
17"	26	24	24	20	22	18
18"	24	22	24	20	22	18
19"	24	22	24	20	22	18
20"	24	22	22	20	22	18
21"	24	20	22	18	22	18
22"	24	20	22	18	22	16
23"	24	20	22	18	20	16
24"	22	20	22	18	20	16
25-26"	22	20	20	18	20	18 A4
27-29"	22	18	20	16	18	16 A4
30"	22	18	20	16	18	16 B4
31-33"	20	18	20	16	18	16 B4
34"	20	18	20	20 A6	18	16 B4
35-36"	20	16	20	20 A6	18	16 B4
37-42"	20	16	18	18 B6	18 F12	
43-48"	20	18 A6	18	18 B6	18 F6	
49-60"	18	18 B4	18 F6	16 B4	18 F6	
61-72"	16		18 F6		16 F4	

An alphabet letter in the table means that reinforcement angles or their equivalent must be used at the foot interval following the letter. The angle sizes are:

A – 1" x 1" x 1/8"; B = 1-1/4" x 1-1/4" x 3/16"; C = 1-1/2" x 1-1/2" x 3/16"; D = 1-1/2" x 1-1/2" x 1/4"; E = 2" x 2" x 3/16"; F = 2" x 2" x 1/4".

If companion flange joints are used as reinforcements, those for 25" to 36" diameter shall be 1-1/2" x 1-1/2" x 3/16"; for 37" to 48" diameter 2" x 2" x 3/16"; for 40" to 60" diameter 2-1/2" x 2-1/2" x 3/16"; for 61" to 72" diameter 3" x 3" x 1/4".



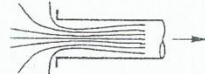




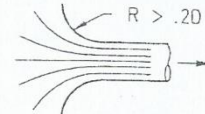
**APÉNDICE C**  
**Tablas de Manual de la ACGIH**



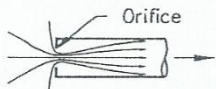
$h_e = 0.93 VP_d$   
PLAIN DUCT END



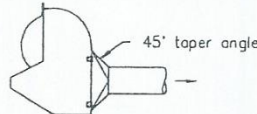
$h_e = 0.49 VP_d$   
FLANGED DUCT END



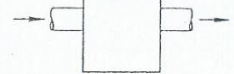
$h_e = 0.04 VP_d$   
BELLMOUTH ENTRY



$h_e = 1.78 VP_{Orifice}$   
SHARP-EDGED ORIFICE



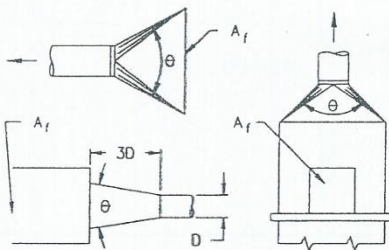
$h_e = 0.4 VP_d$  (tapered t.o.)  
 $h_e = 0.65 VP_d$  (no taper)  
STANDARD GRINDER HOOD



$h_e = 1.5 VP_d$   
TRAP OR SETTLING CHAMBER

### TAPERED HOODS

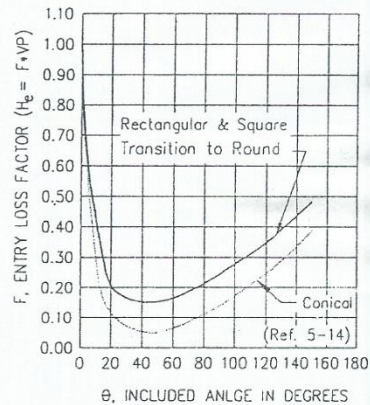
Flanged or unflanged; round, square or rectangular.  $\theta$  is the major angle on rectangular hoods.



Face area ( $A_f$ ) at least 2 times the duct area.

$\theta$	ENTRY LOSS ( $h_e$ )	
	ROUND	RECTANGULAR
15°	0.15 VP	0.25 VP
30°	0.08 VP	0.16 VP
45°	0.06 VP	0.15 VP
60°	0.08 VP	0.17 VP
90°	0.15 VP	0.25 VP
120°	0.26 VP	0.35 VP
150°	0.40 VP	0.48 VP
180°	0.50 VP	0.50 VP

VP = Duct VP =  $VP_d$   
Note: 180° values represent round ducts butted into back of booth or hood without a rectangular to round transition.

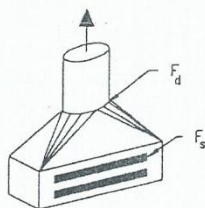


### COMPOUND HOODS

A compound hood, such as the slot/plenum shown to the right, would have 2 losses, one through the slot and the other through the transition into the duct.

The slot entry loss coefficient,  $F_s$ , would have a value typically in the range of 1.00 to 1.78 (see Chapters 3 and 10).

The duct entry loss factor is given by the above data for tapered hoods.



$$h_e = F_s VP_s + F_d VP_d$$

### MISCELLANEOUS VALUES

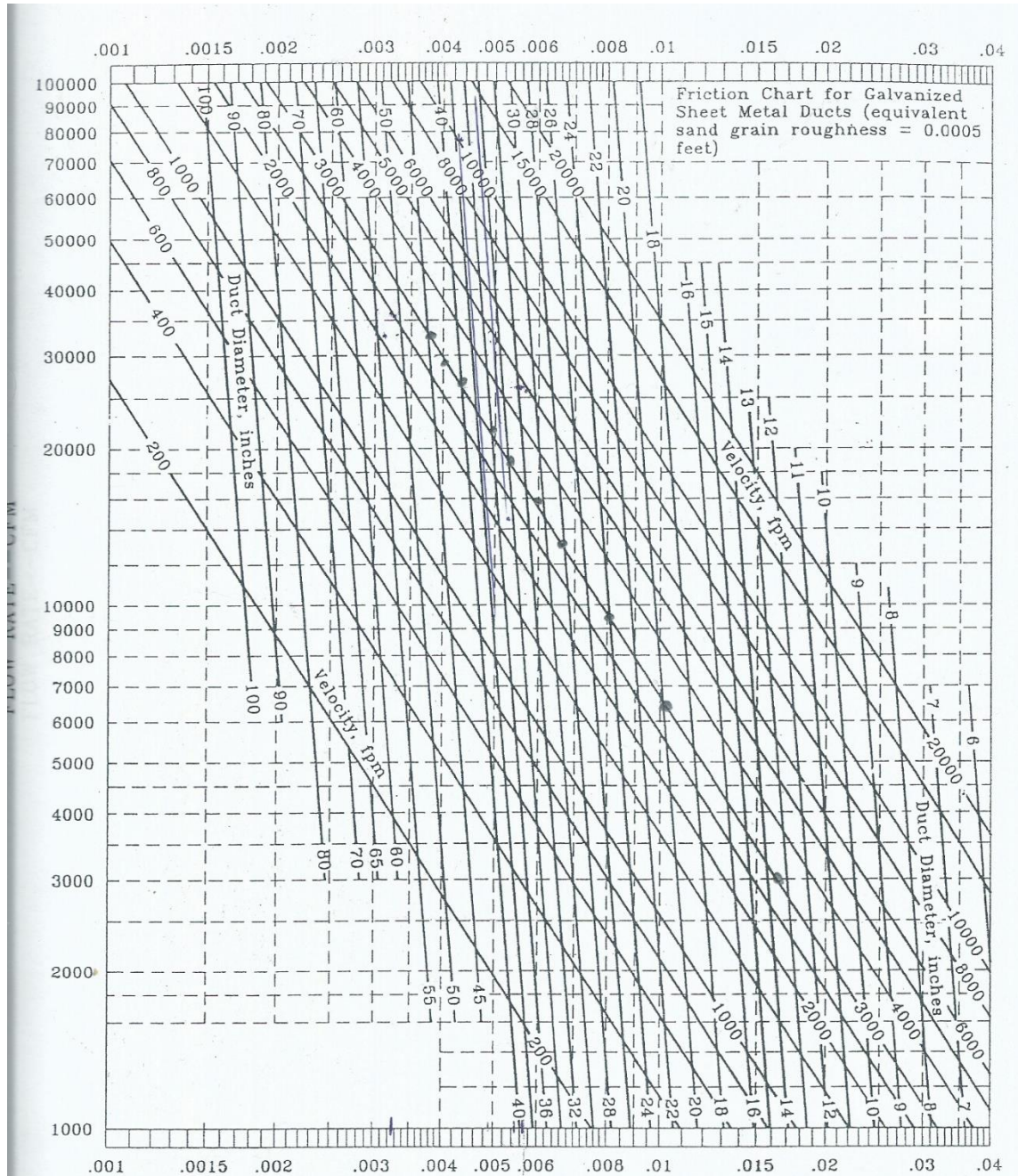
HOOD	ENTRY LOSS, F
Abrasive blast chamber	1.0
Abrasive blast elevator	2.3
Abrasive separator	2.3
Elevators (enclosures)	0.69
Flanged pipe plus close elbow	0.8
Plain pipe plus close elbow	1.60

AMERICAN CONFERENCE  
OF GOVERNMENTAL  
INDUSTRIAL HYGIENISTS

## HOOD ENTRY LOSS FACTORS

DATE 1-95

FIGURE 5-12

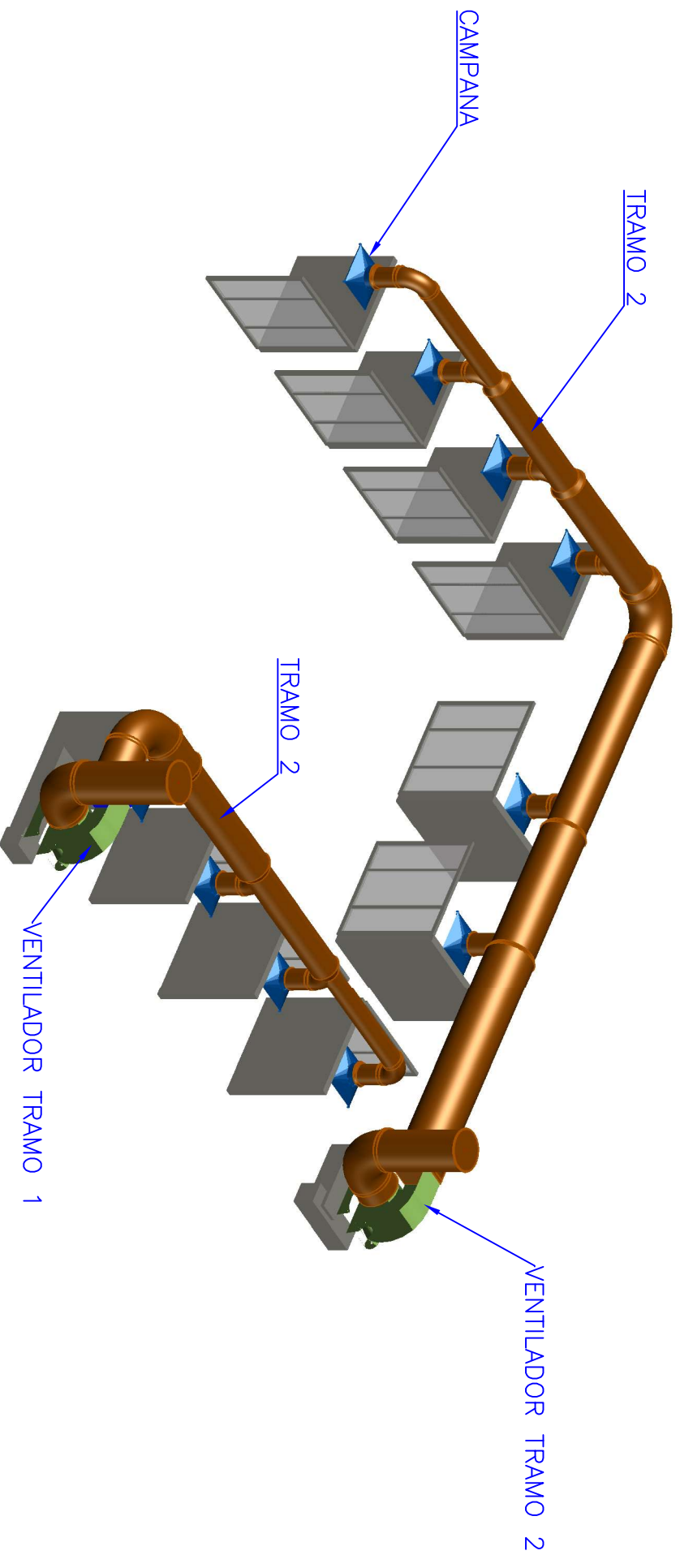


FRICITION LOSS ( $H_f$ )--NUMBER OF VP PER FOOT OF DUCT

FIGURE 5-15b. FRICITION CHART FOR GALVANIZED SHEET METAL DUCTS (equivalent sand grain roughness height = 0.0005 feet).<sup>5,1</sup> Graph courtesy of J-Square Ventilation Company.

**APÉNDICE D**  
**Especificaciones Técnicas de los Ventiladores**

**APÉNDICE E**  
**Norma de Calidad del Aire Ambiente**



Tolerancias Generales

7168 T1-f

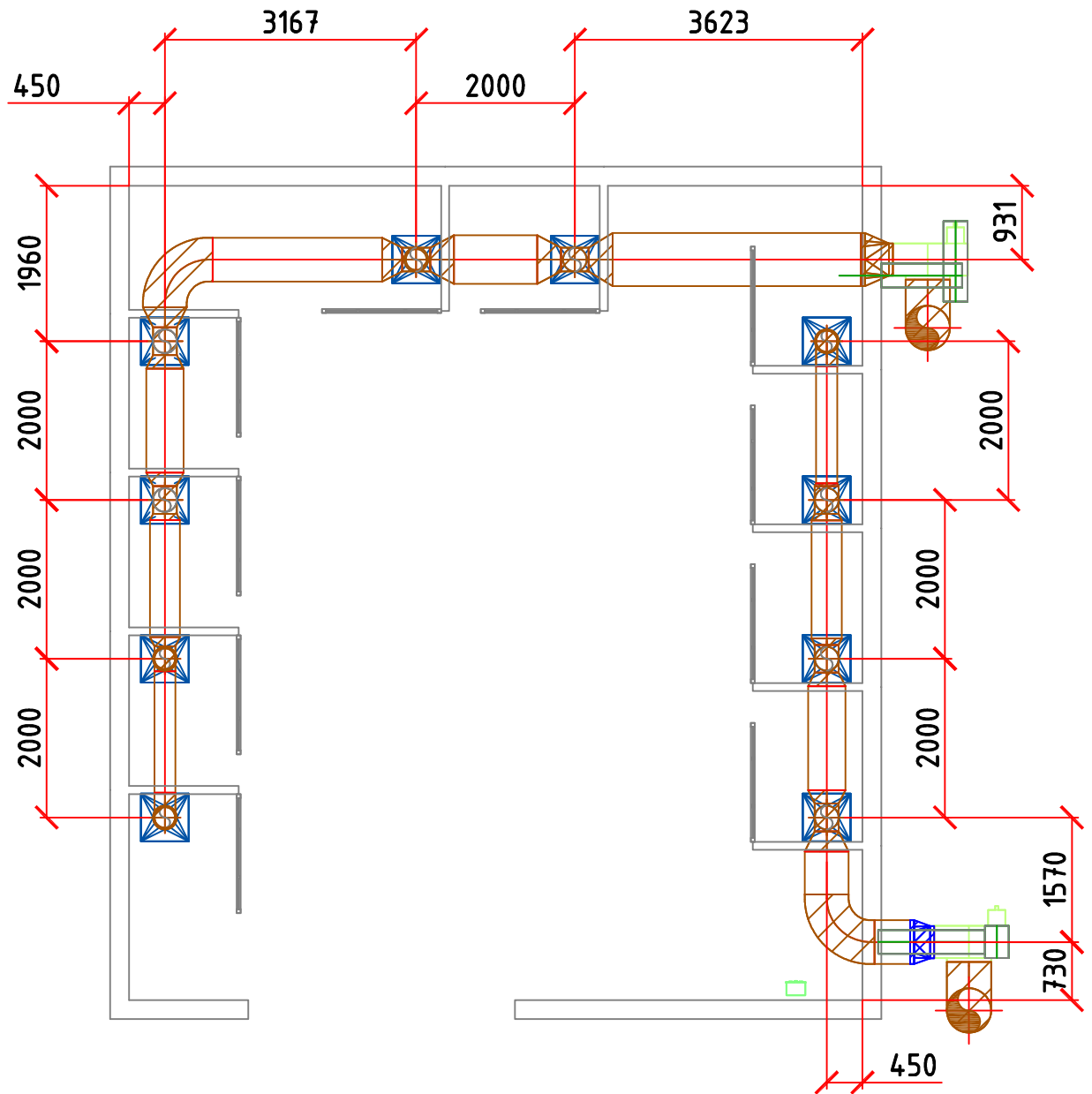


Fecha	Nombre
Dib. 2016-08-30	B. Moncada
Dib. 2016-08-30	D. Barreuzeta
Aprob. Ing. Gonzalo Zabala	

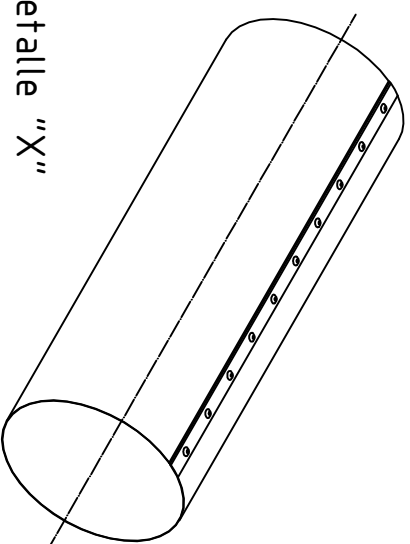
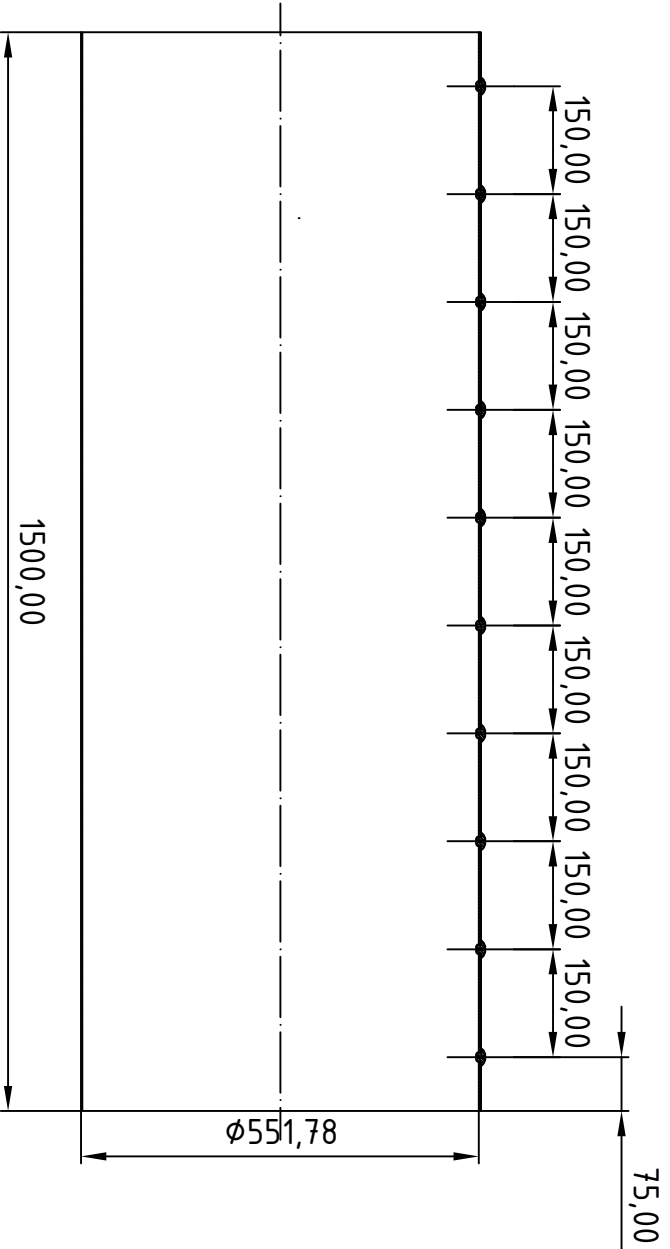
Escala: 1 : 80	Cotas: mm.	Formato: A4
Nombre de la Parte: <b>ALTERNATIVA No.1</b>		

## PLANO DE TALLER

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		
Plano No.:	1	A
		Hoja 1 de 1



Materia Integradora			Escala: 1 : 100	Cotas: mm.	Formato: A4	
I Term 2016			VISTA DE PLANTA DEL TALLER			
	Fecha	Nombre	Nombre de la Parte:			
Dib.	2016-08-25	B. Moncada	PLANO DE TALLER			
Dib.	2016-08-25	D. Barrezueta				
Aprob.	Ing. Gonzalo Zabala					
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL			Plano No.:	2	A	Hoja
FSPNI						1 de 1



Detalle "X"

REMACHES

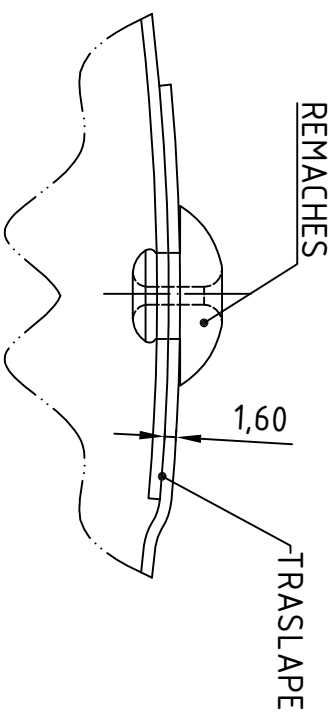
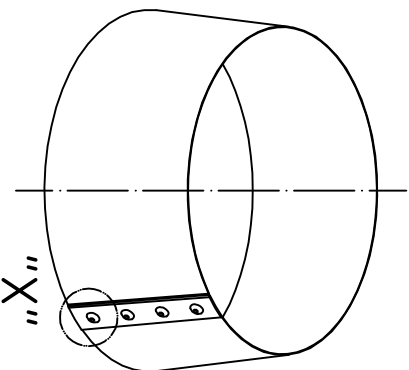
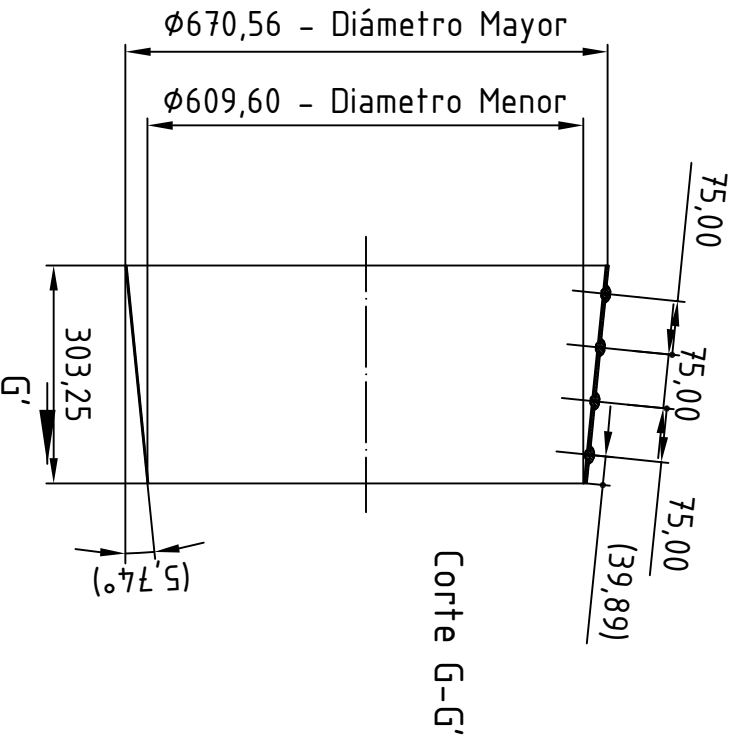
1,60

TRASLAPPE

(R275,59)

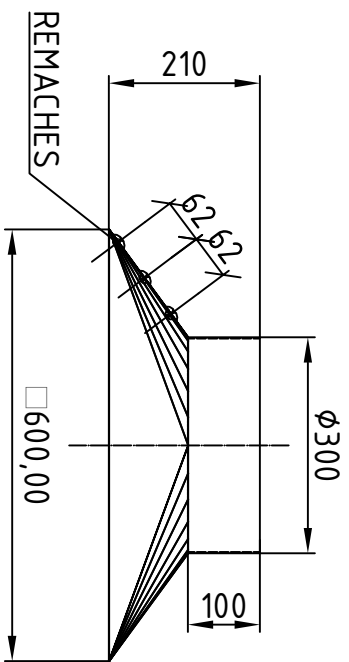
Materia Integradora		Escala: 1 : 10		Cotas: mm.		Formato: A4	
I Term 2016		Material: Plancha de Acero Galvanizado e:1,6mm		Nombre de la Parte:		DUCTO	
Fecha	Nombre	Nombre de la Parte:					
2016-08-18	B. Moncada						
Dib.	Dib.						
2016-08-18	D. Barrezuela						
Aprob.	Aprob.						
	Ing. Gonzalo Zabala						
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL							
ESPOL		Plano No.: 3		A		Hoja 1 de 1	



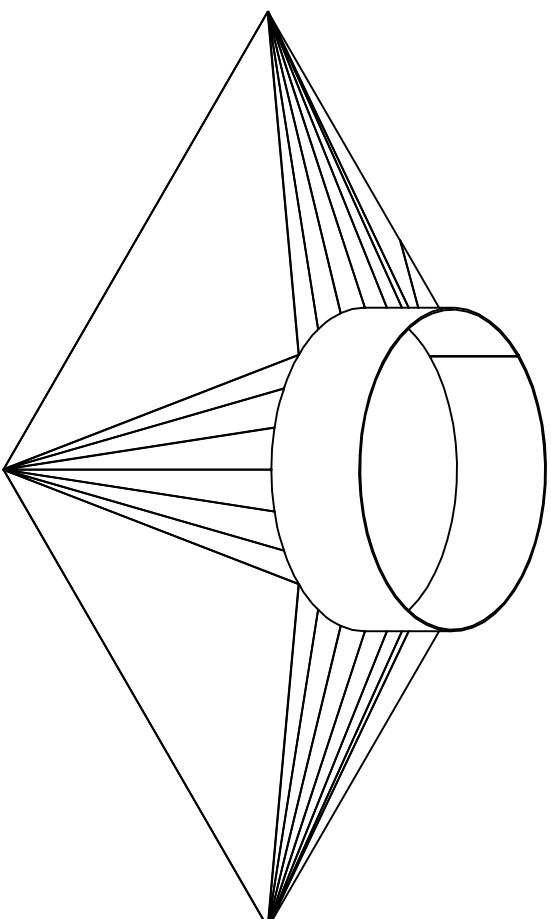
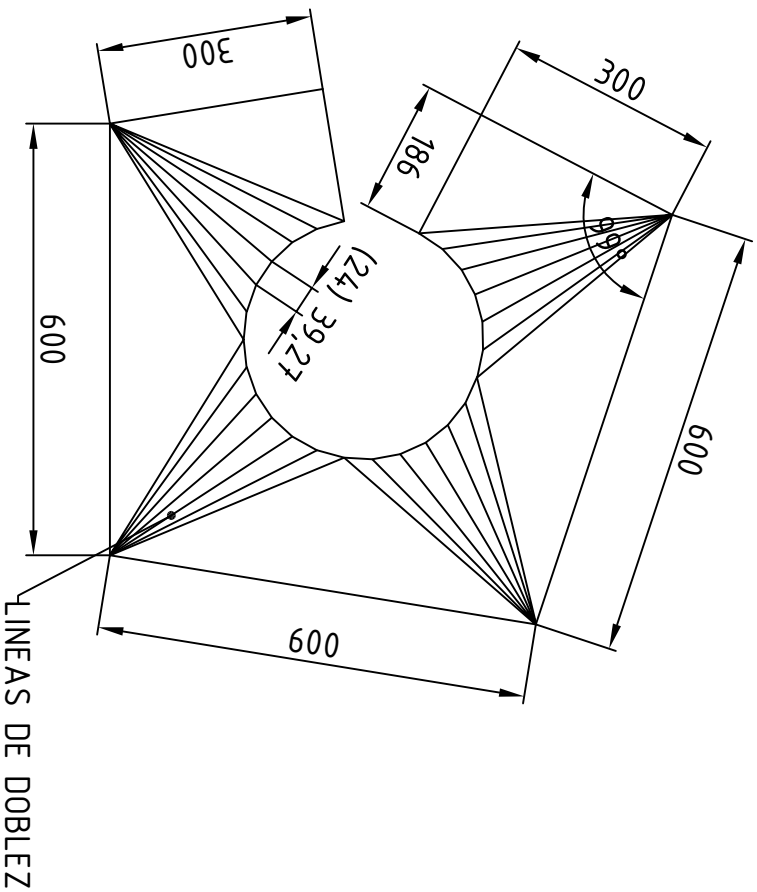


Detalle "X"  
ESC: 1 : 1

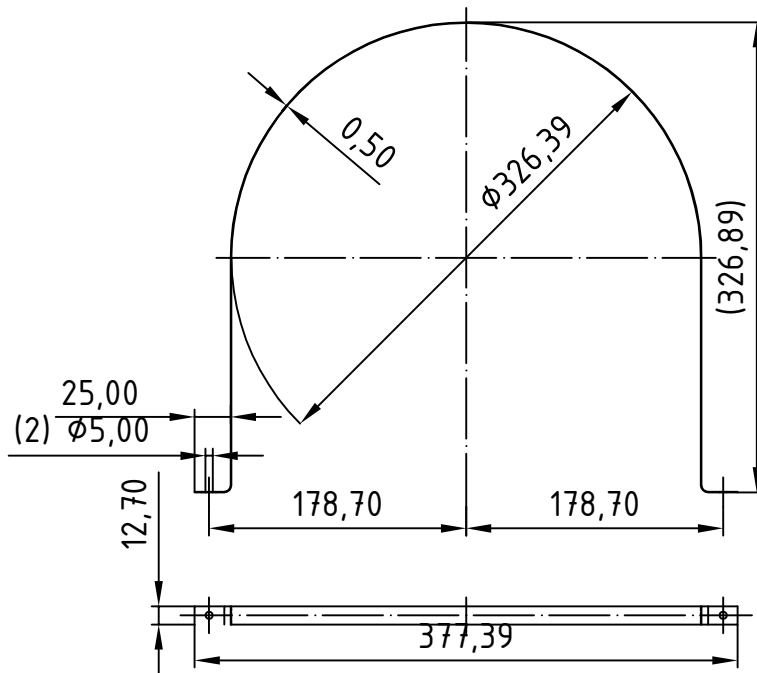
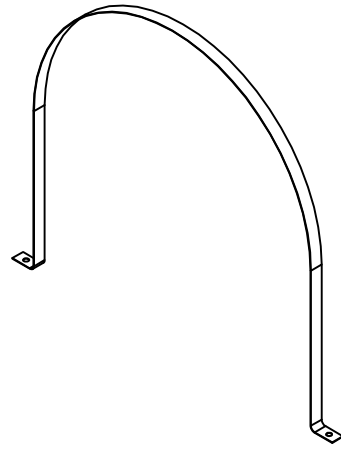
Materia Integradora		Escala: 1 : 10		Cotas: mm.		Formato: A4	
I Term 2016		Material: Plancha de Acero Galvanizado e:1,6mm		Nombre de la Parte:		TOBERA	
Fecha	Nombre						
2016-08-24	B. Moncada						
Dib.							
2016-08-24	D. Barrezueta						
Aprob.							
	Ing. Gonzalo Zabala						
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL							
ESPOL		Plano No.:		4		A	
						Hoja 1 de 1	



DESARROLLO DE CAMPANA



Materia Integradora		Escala: 1 : 10		Cotas: mm.		Formato: A4	
I Term 2016		Material: Plancha de Acero Galvanizado e:1,6mm		Nombre de la Parte:		CAMPANA	
Dib.	Fecha	Nombre					
2016-08-25	2016-08-25	B. Moncada					
Dib.	Fecha	Nombre					
2016-08-25	2016-08-25	D. Barrezueta					
Aprob.	Fecha	Nombre					
		Ing. Gonzalo Zabala					
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL							
ESPOL		Plano No.: 5		A		Hoja 1 de 1	



Materia Integradora			Escala: 1 : 2	Cotas: mm.	Formato: A4
I Term 2016			Material: Fleje de Acero Galvanizado e: 1mm		
	Fecha	Nombre	Nombre de la Parte:		
Dib.	2016-08-18	B. Moncada	FLEJE		
Dib.	2016-08-18	D. Barrezueta			
Aprob.	Ing. Gonzalo Zabala				
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL			Plano No.:	6	A
FSPNI					Hoja 1 de 1

**APÉNDICE B**  
**Tablas de Manual SMACNA**

## APENDICE B

Tablas tomadas del manual de SMACNA, sobre espesores para planchas de acero galvanizado

GALVANIZED SHEET THICKNESS TOLERANCES										
Gage	Thickness in Inches			Weight				Thickness in Millimeters		
	Min.	Max.	Nom.	Min. lb/sf	Nom. lb/sf	Max. lb/sf	Nom. kg/m <sup>2</sup>	Min.	Max.	Nom.
33	.0060	.0120	.0090	.2409	.376	.486		.1524	.3048	.2286
32	.0104	.0164	.0134	.4204	.563	.665		.2642	.4166	.3404
31	.0112	.0172	.0142	.4531	.594	.698		.2845	.4369	.3607
30	.0127	.0187	.0157	.5143	.656	.759	3.20	.3188	.4783	.3988
29	.0142	.020	.0172	.5755	.719	.820		.3569	.5169	.4369
28	.0157	.0217	.0187	.6367	.781	.881	3.81	.3950	.5550	.4750
27	.0172	.0232	.0202	.6979	.844	.943		.4331	.5931	.5131
26	.0187	.0247	.0217	.7591	.906	1.004	4.42	.4712	.6312	.5512
25	.0217	.0287	.0247	.8407		1.167		.5274	.7274	.6274
24	.0236	.0316	.0276	.9590	1.156	1.285	5.64	.6010	.8010	.7010
23	.0266	.0346	.0306	1.0814		1.408		.6772	.8772	.7772
22	.0296	.0376	.0336	1.2038	1.406	1.530	6.86	.7534	.9534	.8534
21	.0326	.0406	.0366	1.3263		1.653		.8296	1.0296	.9296
20	.0356	.0436	.0396	1.4486	1.656	1.775	8.08	.906	1.106	1.006
19	.0406	.0506	.0456	1.6526		2.061		1.028	1.288	1.158
18	.0466	.0566	.0516	1.8974	2.156	2.305	10.52	1.181	1.441	1.311
17	.0525	.0625	.0575	2.1381		2.546		1.331	1.591	1.461
16	.0575	.0695	.0635	2.342	2.656	2.832	12.96	1.463	1.763	1.613
15	.0650	.0770	.0710	2.6481		3.138		1.653	1.953	1.803
14	.0705	.0865	.0785	2.8725	3.281	3.525	16.01	1.784	2.204	1.994
13	.0854	.1014	.0934	3.4804		4.133		2.162	2.5823	2.372
12	.0994	.1174	.1084	4.0516	4.531	4.786	22.11	2.523	2.983	2.753
11	.1143	.1323	.1233	4.6505		5.394		2.902	3.362	3.132
10	.1292	.1472	.1382	5.2675	5.781	6.002	28.21	3.280	3.740	3.510
9	.1442	.1622	.1532	5.8795		6.614		3.661	4.121	3.891
8	.1591	.1771	.1681	6.4874	6.875	7.222		4.040	4.500	4.270

### NOTES:

- Based on ASTM A924/924M-94, Standard Specification for General Requirements for Sheet Steel, Metallic Coated by the Hot-Dip Process (formerly ASTM A525); and ASTM A653/A653M-94, Standard Specification for Sheet Steel, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy Coated (Galvanized) by the Hot-Dip Process.
- Tolerances are valid for 48" and 60" wide coil and cut length stock - other dimensions apply to other sheet widths and to strip.
- The lock forming grade of steel will conform to ASTM A653 (formerly ASTM A527).
- The steel producing industry recommends that steel be ordered by decimal thickness only. Thickness and zinc coating class can be stenciled on the sheet. The gage designation is retained for residual familiarity reference only.
- Minimum weight in this table is based on the following computation:  
Minimum sheet thickness minus 0.001" of G60 coating times 40.8 lb per s.f. per inch plus 0.0369 lb/sf of zinc.  
G90 stock would be comparably calculated from:  
(t - .00153") 40.8 ÷ 0.0564 = minimum weight.  
However, scale weight may run 2% (or more) greater than theoretical weight. Actual weight may be near 40.82 lb. per s.f. per inch.
- G60 coating, per ASTM A653 and ASTM A90, has 0.60 oz/sf (triple spot test) total for two sides. 0.59 oz/sf of zinc equals 0.001". 1 oz is 0.0017" and is 305.15 g/m<sup>2</sup>.  
G90 coating is 0.90 oz/sf (triple spot test), or 0.00153". Magnetic gage measurement of zinc coating may have 15% error.
- ASTM A2092, Practices for Preparation of Zinc-Coated Galvanized Steel Surfaces for Paint, includes mill phosphatizing.
- ASTM A755 is the Specification for Sheet Steel, Metallic Coated by the Hot-Dip Process and Prepared by the Coil-Coating Process for Exterior Building Products. Other information is available from the National Coil Coaters Association, Philadelphia, PA.
- Much chemical and atmospheric corrosion information is available from ASM International in Metals Park, Ohio and from NACE International in Houston, TX.
- A principle international standard is ISO 3575, Continuous Hot-Dip Process, Zinc-Coated Carbon Steel Sheet of Commercial, Lock Forming and Drawing Qualities.

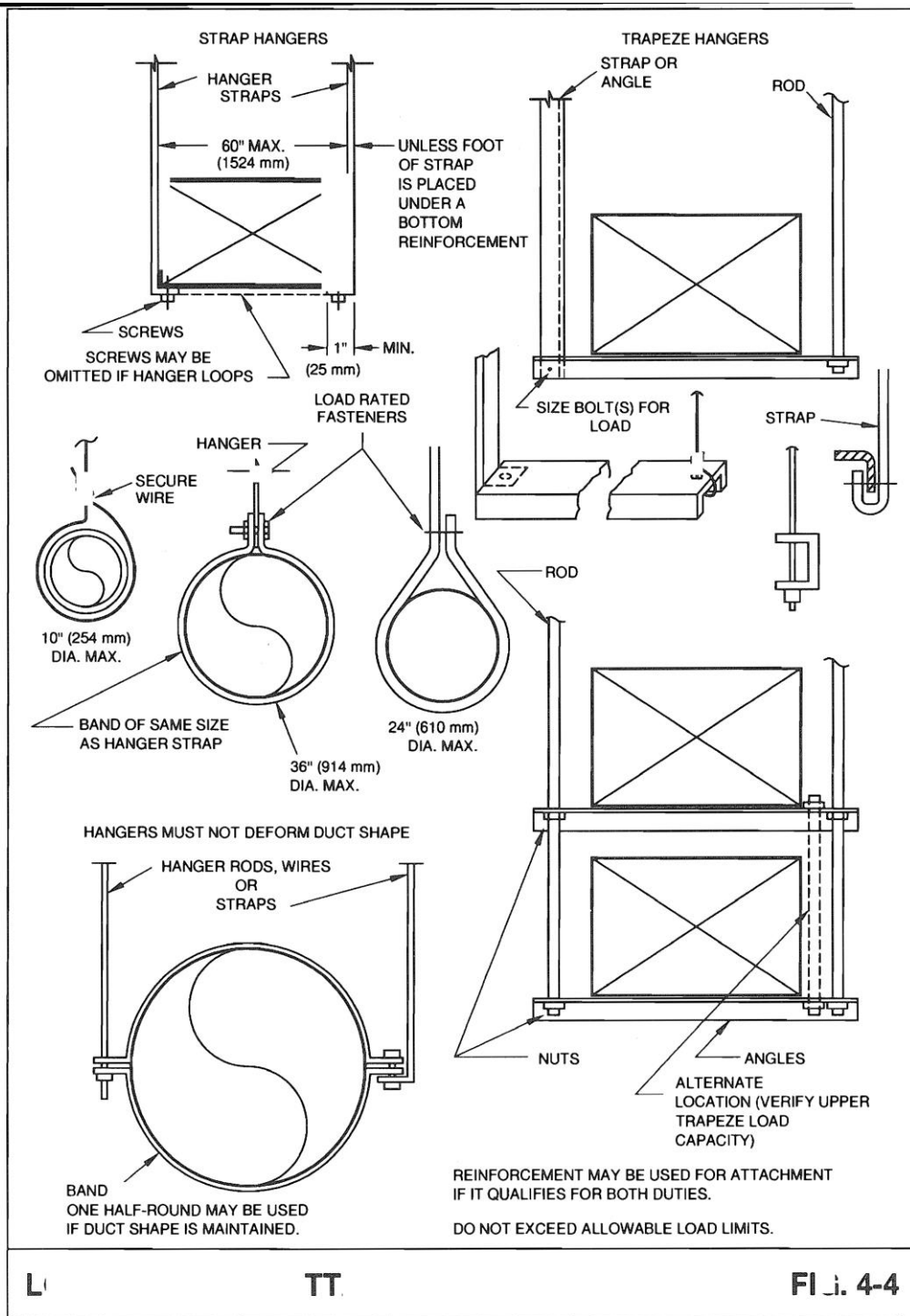
TABLE 3-2B ROUND DUCT GAGE NEGATIVE PRESSURE						
MAX. DIA.	-2" w.g.		-4" w.g.		-10" w.g.	
	Spiral Seam	Long. Seam	Spiral Seam	Long. Seam	Spiral Seam	Long. Seam
6"	28	28	28	28	26	26
7"	28	28	28	28	26	26
8"	28	28	28	28	26	26
9"	28	28	28	26	26	24
10"	28	28	26	26	26	22
11"	28	26	26	24	26	22
12"	28	26	26	24	24	22
13"	28	26	26	24	24	20
14"	28	24	24	22	24	20
15"	28	24	24	22	22	20
16"	26	24	24	22	22	18
17"	26	24	24	20	22	18
18"	24	22	24	20	22	18
19"	24	22	24	20	22	18
20"	24	22	22	20	22	18
21"	24	20	22	18	22	18
22"	24	20	22	18	22	16
23"	24	20	22	18	20	16
24"	22	20	22	18	20	16
25-26"	22	20	20	18	20	18 A4
27-29"	22	18	20	16	18	16 A4
30"	22	18	20	16	18	16 B4
31-33"	20	18	20	16	18	16 B4
34"	20	18	20	20 A6	18	16 B4
35-36"	20	16	20	20 A6	18	16 B4
37-42"	20	16	18	18 B6	18 F12	
43-48"	20	18 A6	18	18 B6	18 F6	
49-60"	18	18 B4	18 F6	16 B4	18 F6	
61-72"	16		18 F6		16 F4	

An alphabet letter in the table means that reinforcement angles or their equivalent must be used at the foot interval following the letter. The angle sizes are:

A - 1" x 1" x 1/8"; B - 1-1/4" x 1-1/4" x 3/16"; C - 1-1/2" x 1-1/2" x 3/16"; D - 1-1/2" x 1-1/2" x 1/4"; E - 2" x 2" x 3/16"; F - 2" x 2" x 1/4".

If companion flange joints are used as reinforcements, those for 25" to 36" diameter shall be 1-1/2" x 1-1/2" x 3/16"; for 37" to 48" diameter 2" x 2" x 3/16"; for 40" to 60" diameter 2-1/2" x 2-1/2" x 3/16"; for 61" to 72" diameter 3" x 3" x 1/4".



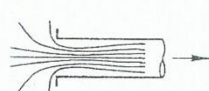


**APÉNDICE C**  
**Tablas de Manual de la ACGIH**





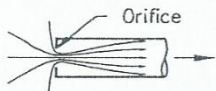
$h_e = 0.93 VP_d$   
PLAIN DUCT END



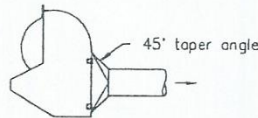
$h_e = 0.49 VP_d$   
FLANGED DUCT END



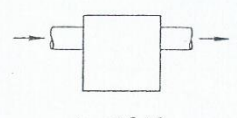
$h_e = 0.04 VP_d$   
BELLMOUTH ENTRY



$h_e = 1.78 VP_{Orifice}$   
SHARP-EDGED ORIFICE



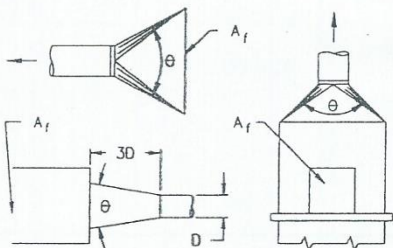
$h_e = 0.4 VP_d$  (tapered t.o.)  
 $h_e = 0.65 VP_d$  (no taper)  
STANDARD GRINDER HOOD



$h_e = 1.5 VP_d$   
TRAP OR SETTLING CHAMBER

### TAPERED HOODS

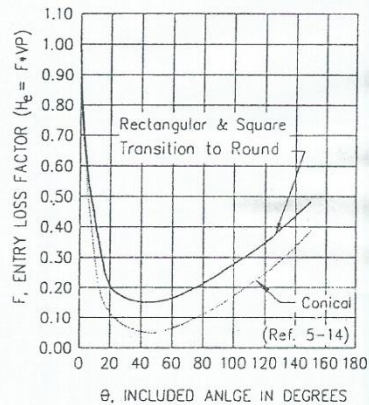
Flanged or unflanged; round, square or rectangular.  $\theta$  is the major angle on rectangular hoods.



Face area ( $A_f$ ) at least 2 times the duct area.

$\theta$	ENTRY LOSS ( $h_e$ )	
	ROUND	RECTANGULAR
15°	0.15 VP	0.25 VP
30°	0.08 VP	0.16 VP
45°	0.06 VP	0.15 VP
60°	0.08 VP	0.17 VP
90°	0.15 VP	0.25 VP
120°	0.26 VP	0.35 VP
150°	0.40 VP	0.48 VP
180°	0.50 VP	0.50 VP

VP = Duct VP =  $VP_d$   
Note: 180° values represent round ducts butted into back of booth or hood without a rectangular to round transition.

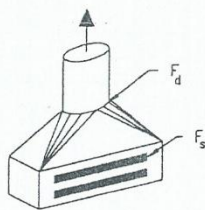


### COMPOUND HOODS

A compound hood, such as the slot/plenum shown to the right, would have 2 losses, one through the slot and the other through the transition into the duct.

The slot entry loss coefficient,  $F_s$ , would have a value typically in the range of 1.00 to 1.78 (see Chapters 3 and 10).

The duct entry loss factor is given by the above data for tapered hoods.



$$h_e = F_s VP_s + F_d VP_d$$

### MISCELLANEOUS VALUES

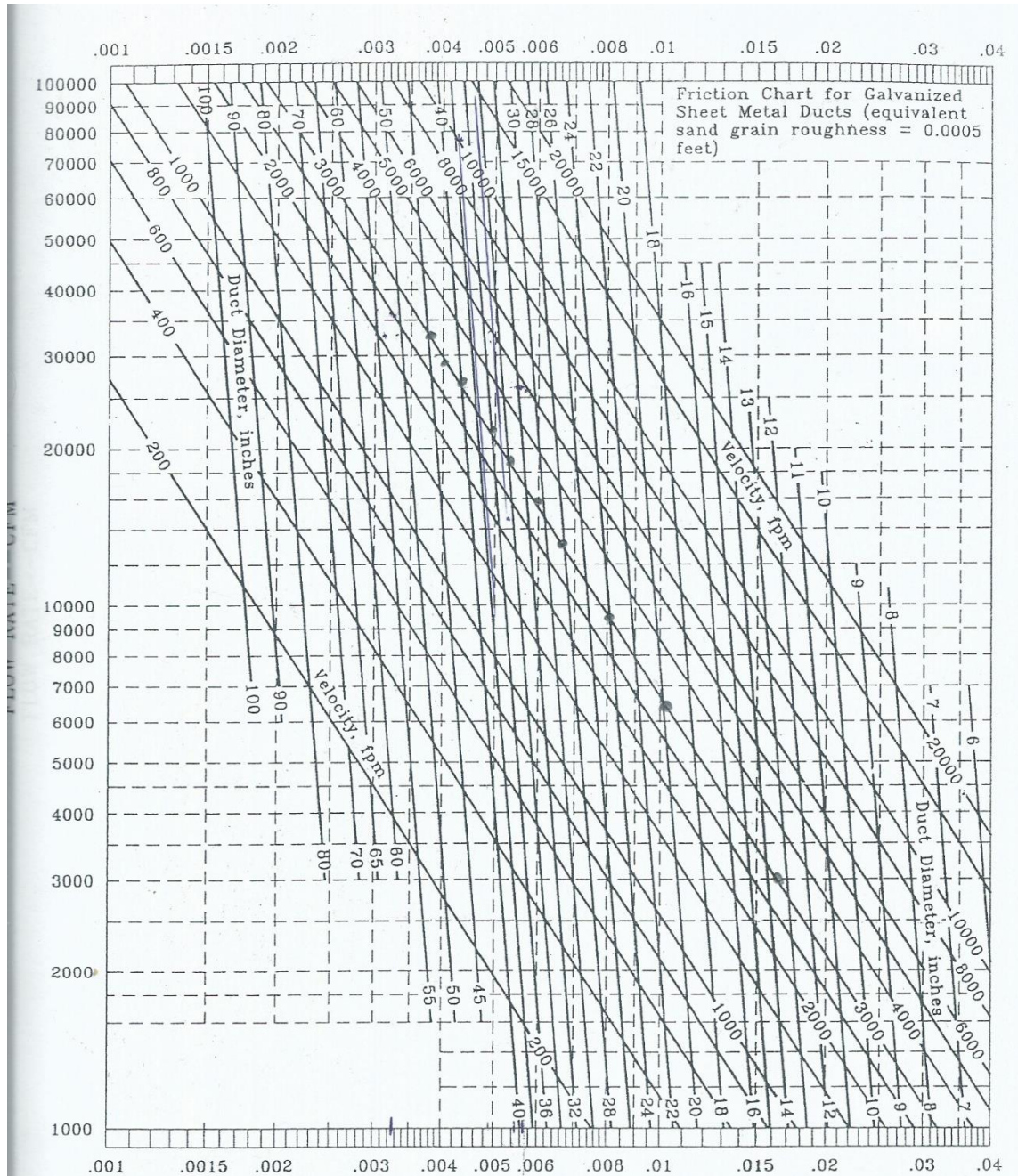
HOOD	ENTRY LOSS, F
Abrasive blast chamber	1.0
Abrasive blast elevator	2.3
Abrasive separator	2.3
Elevators (enclosures)	0.69
Flanged pipe plus close elbow	0.8
Plain pipe plus close elbow	1.60

AMERICAN CONFERENCE  
OF GOVERNMENTAL  
INDUSTRIAL HYGIENISTS

## HOOD ENTRY LOSS FACTORS

DATE 1-95

FIGURE 5-12



FRICITION LOSS ( $H_f$ )--NUMBER OF VP PER FOOT OF DUCT

FIGURE 5-15b. FRICITION CHART FOR GALVANIZED SHEET METAL DUCTS (equivalent sand grain roughness height = 0.0005 feet).<sup>5,1</sup> Graph courtesy of J-Square Ventilation Company.

**APÉNDICE D**  
**Especificaciones Técnicas de los Ventiladores**

## CDXRT-450-4



**Ventiladores centrífugos de doble aspiración a transmisión, equipados con motor eléctrico, conjunto de poleas, correas, protectores y turbina con álabes hacia atrás.**

Ventilador:

- Envoltorio en chapa de acero galvanizado
- Turbina con álabes hacia atrás. en chapa de acero galvanizado

Motor:

- Motores de eficiencia IE2 para potencias iguales o superiores a 0.75kW e inferiores a 7.5kW. excepto monofásicos. 2 velocidades y 8 polos
- Motores de eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 7.5kW. excepto monofásicos. 2 velocidades y 8 polos
- Motores clase F. con rodamientos a bolas protección IP55
- Trifásicos 230/400V 50Hz (hasta 4kW) y 400/690V 50Hz (Potencias superiores a 4kW)
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C +60°C

Acabado:

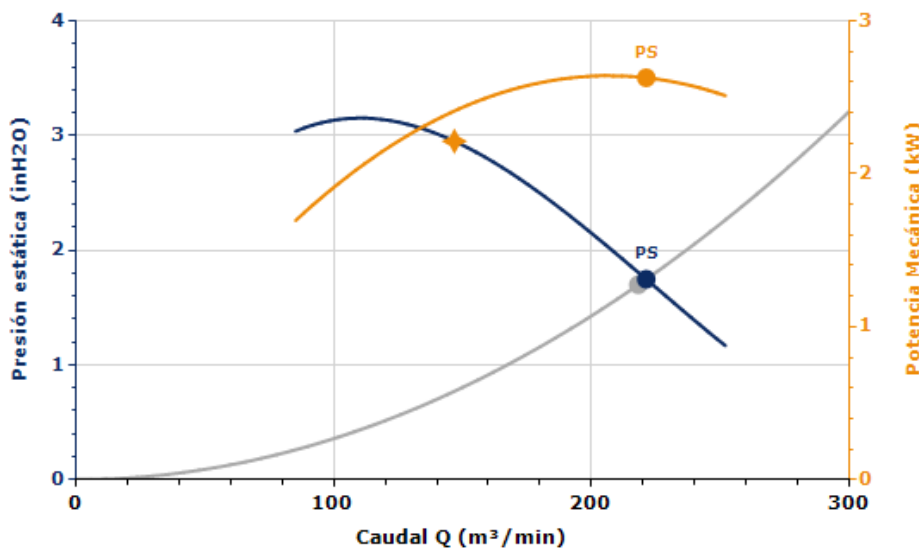
- Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado

Bajo demanda:

- Diferentes posiciones de boca de impulsión
- Bobinados especiales para diferentes tensiones
- Con motores de 2 velocidades
- Motores de eficiencias IE2 e IE3 para cualquier potencia



### CURVA CARACTERÍSTICA Y ACÚSTICA PARA 1,2KG/M<sup>3</sup>



**Punto Diseño**

Q (m <sup>3</sup> /min)	218
Pe (inH2O)	1,70

**Punto Servicio (PS)**

Q (m <sup>3</sup> /min)	221,06
Pe (inH2O)	1,7481
Pd (inH2O)	0,3115
Pt (inH2O)	2,0596
Velocidad (rpm)	1510
Máx. Temp. (°C)	60
Velocidad salida aire (m/s)	11,37
Rendimiento (%)	71,89
SFP (kW/m <sup>3</sup> /s)	0,87
Potencia Mecánica (kW)	2,63

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

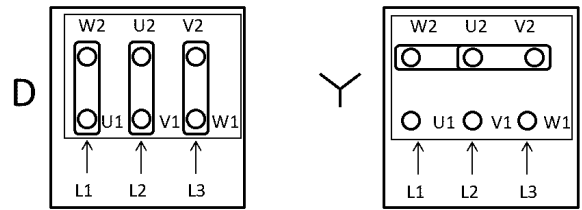
Caudal máximo (m <sup>3</sup> /min)	251,67
Velocidad (rpm)	1510
Peso aprox. (kg)	101

Rendimiento	61,2%
Grado eficiencia N	66,8
Categoría de medición	C
Categoría eficiencia	Estático
Relación específica	1,01
Caudal (m <sup>3</sup> /min)	146,83
Presión (inH2O)	2,9618
Potencia eléctrica (kW)	2,95
Velocidad (rpm)	1510
Variador de velocidad	VSD no necesario

♦ Datos establecidos en el punto de máxima eficiencia

## DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	3
Hz/fases	50/3
Motor (rpm)	1445
Polos	4
Corriente máx. (A) 380-415 V Y	6,33
Corriente máx. (A) 220-240 V D	10,96
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	100



Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

## ACCESORIOS DISPONIBLES



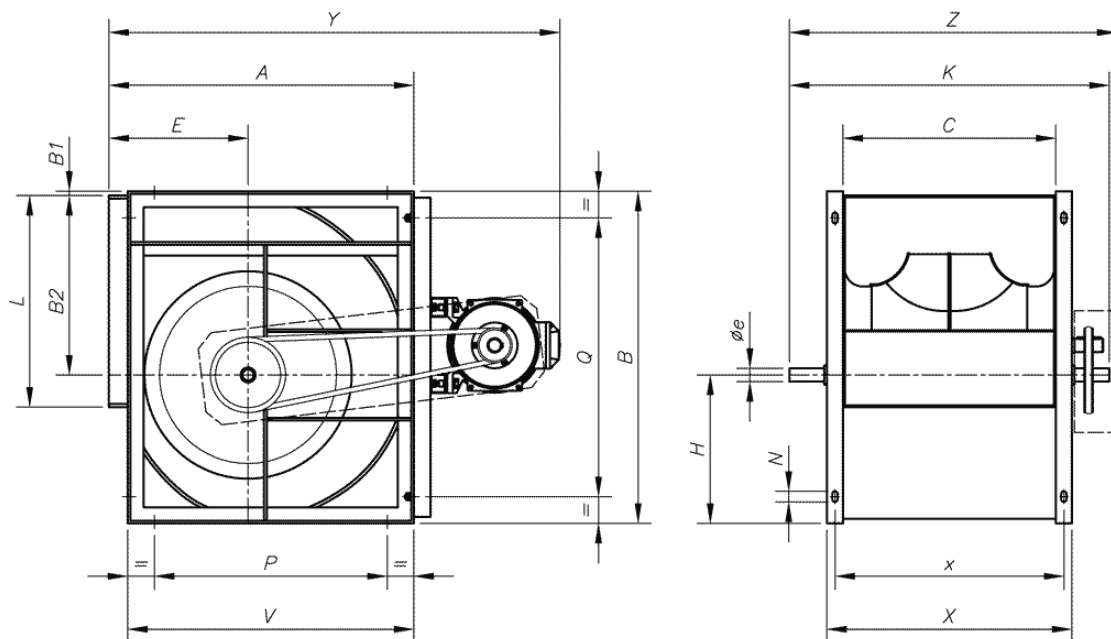
Se debe comprobar que el accesorio es adecuado para el modelo de ventilador

## DIMENSIONES

A	B	B1	B2	C	E	øe	H	K	L	N	P	Q	V
728	827	5	486	569	322	35	336	845	569	13x18	530	530	681

X	x	Y	Z
649	609	1035	925

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm)



# CDXRT-450-10-1948RPM



**Ventiladores centrífugos de doble aspiración a transmisión, equipados con motor eléctrico, conjunto de poleas, correas, protectores y turbina con álabes hacia atrás.**

**Ventilador:**

- Envoltorio en chapa de acero galvanizado
- Turbina con álabes hacia atrás. en chapa de acero galvanizado

**Motor:**

- Motores de eficiencia IE2 para potencias iguales o superiores a 0.75kW e inferiores a 7.5kW. excepto monofásicos. 2 velocidades y 8 polos
- Motores de eficiencia IE3 para potencias iguales o superiores a 7.5kW. excepto monofásicos. 2 velocidades y 8 polos
- Motores clase F. con rodamientos a bolas protección IP55
- Trifásicos 230/400V 50Hz (hasta 4kW) y 400/690V 50Hz (Potencias superiores a 4kW)
- Temperatura máxima del aire a transportar: -20°C +60°C

**Acabado:**

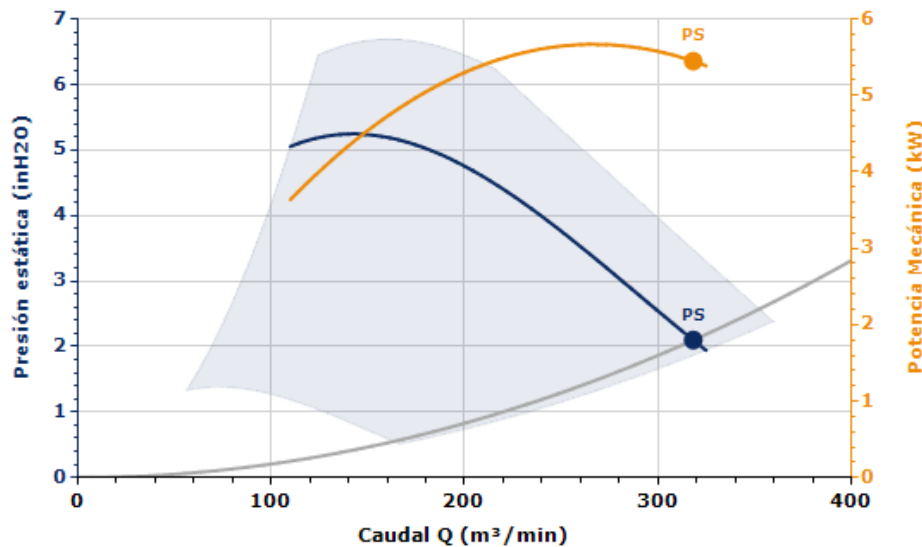
- Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado

**Bajo demanda:**

- Diferentes posiciones de boca de impulsión
- Bobinados especiales para diferentes tensiones
- Con motores de 2 velocidades
- Motores de eficiencias IE2 e IE3 para cualquier potencia



## CURVA CARACTERÍSTICA Y ACÚSTICA PARA 1,2KG/M<sup>3</sup>



### Punto Diseño

Q (m <sup>3</sup> /min)	318
Pe (inH2O)	2,10

### Punto Servicio (PS)

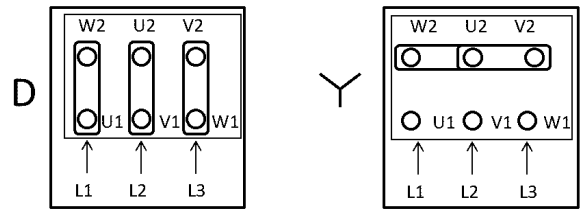
Q (m <sup>3</sup> /min)	318
Pe (inH2O)	2,10
Pd (inH2O)	0,6446
Pt (inH2O)	2,7446
Velocidad (rpm)	1948
Máx. Temp. (°C)	60
Velocidad salida aire (m/s)	16,36
Rendimiento (%)	66,49
SFP (kW/m <sup>3</sup> /s)	1,18
Potencia Mecánica Absorbida (kW)	5,45
Potencia Mecánica Recomendada (kW)	7,50
Potencia Mecánica Seleccionada (kW)	7,50

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m <sup>3</sup> /min)	324,58
Velocidad (rpm)	1948
Peso aprox. (kg)	131

## DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	7,50
Hz/fases	50/3
Motor (rpm)	1455
Polos	4
Corriente máx. (A) 380-415 V D	14,20
Corriente máx. (A) 660-725 V Y	8,20
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	132



Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

## ACCESORIOS DISPONIBLES



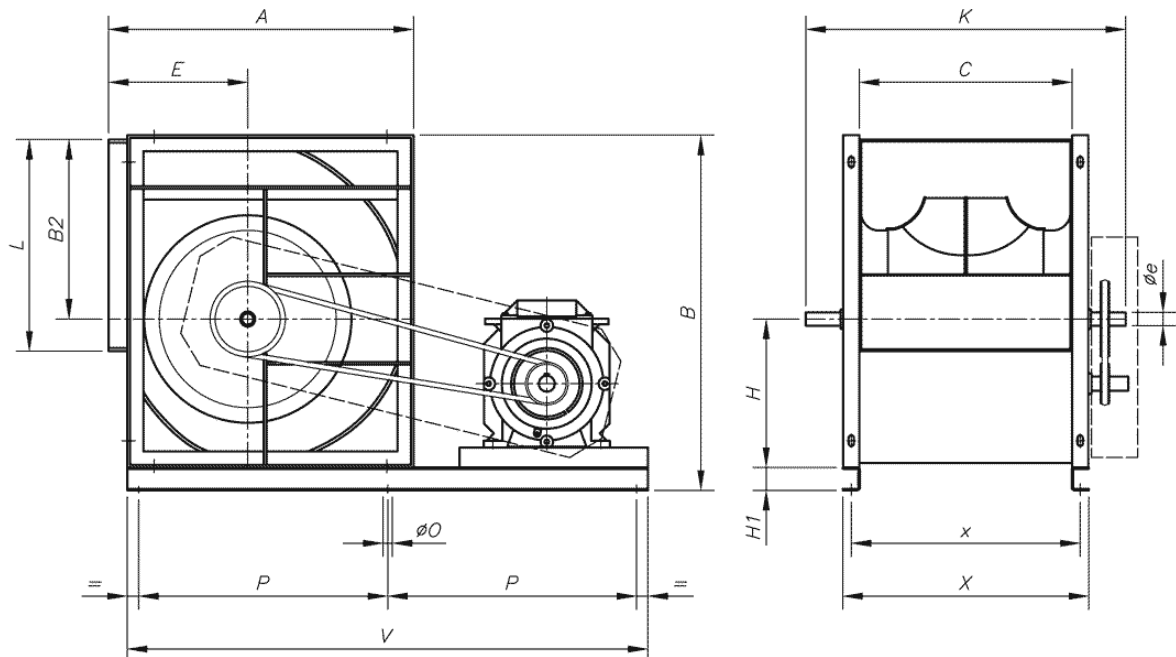
Se debe comprobar que el accesorio es adecuado para el modelo de ventilador

## DIMENSIONES

A	B	B1	B2	C	E	øe	H	K	L	N	P	Q	V
728	827	5	486	569	322	35	336	845	569	13x18	530	530	681

X	x	Y	Z
649	609	1000	925

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm)



**APÉNDICE E**  
**Norma de Calidad del Aire Ambiente**





PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

## NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE

### LIBRO VI ANEXO 4

#### 0 INTRODUCCIÓN

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

Los objetivos de calidad del aire ambiente.

Los métodos y procedimientos a la determinación de los contaminantes en el aire ambiente.

#### 1 OBJETO

La presente norma tiene como objetivo principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel del suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente.

#### 2 DEFINICIONES

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Prevención y Control de la Contaminación, y las que a continuación se indican:

##### 2.1 Aire

O también aire ambiente, es cualquier porción no confinada de la atmósfera, y se define como mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

##### 2.2 Chimenea

Conducto que facilita el transporte hacia la atmósfera de los productos de combustión generados en la fuente fija.

##### 2.3 Combustión



## PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

Oxidación rápida, que consiste en una combinación del oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, partículas, luz y calor.

### **2.4 Condiciones de referencia**

Veinticinco grados centígrados (25 °C) y setecientos sesenta milímetros de mercurio de presión (760 mm Hg).

### **2.5 Contaminante del aire**

Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, y que afecta adversamente al hombre o al ambiente.

### **2.6 Contaminantes comunes del aire**

Cualquier contaminante del aire para los cuales, en esta norma, se especifica un valor máximo de concentración permitida a nivel del suelo en el aire ambiente, para diferentes períodos de tiempo.

### **2.7 Contaminante peligroso del aire**

Son aquellos contaminantes del aire no contemplados en esta norma pero que pueden presentar una amenaza de efectos adversos en la salud humana o en el ambiente. Algunos de estos contaminantes, pero que no se limitan a los mismos, son asbesto, berilio, mercurio, benceno, cloruro de vinilo.

### **2.8 Contaminación del aire**

La presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente.

### **2.9 Diámetro aerodinámico**

Para una partícula específica, es el diámetro de una esfera con densidad unitaria (densidad del agua) que se sedimenta en aire quieto a la misma velocidad que la partícula en cuestión.

### **2.10 Emisión**

La descarga de sustancias en la atmósfera. Para propósitos de esta norma, la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas.



## PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

### **2.11 Episodio crítico de contaminación del aire**

Es la presencia de altas concentraciones de contaminantes comunes del aire y por períodos cortos de tiempo, como resultado de condiciones meteorológicas desfavorables que impiden la dispersión de los contaminantes previamente emitidos.

### **2.12 Fuente fija de combustión**

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones, que tiene como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, y que emite o puede emitir contaminantes al aire, debido a proceso de combustión, desde un lugar fijo o inamovible.

### **2.13 ISO**

Organización Internacional para la Normalización.

### **2.14 Línea base**

Denota el estado de un sistema alterado en un momento en particular, antes de un cambio posterior. Se define también como las condiciones en el momento de la investigación dentro de un área que puede estar influenciada por actividades humanas.

### **2.15 Material particulado**

Está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales. Se designa como  $PM_{2,5}$  al material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2,5 micrones. Se designa como  $PM_{10}$  al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones.

### **2.16 Micrón**

Millonésima parte de un metro.

### **2.17 Monitoreo**

Es el proceso programado de coleccionar muestras, efectuar mediciones, y realizar el subsiguiente registro, de varias características del ambiente, a menudo con el fin de evaluar conformidad con objetivos específicos.

### **2.18 Nivel de fondo (background)**



## PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

Denota las condiciones ambientales imperantes antes de cualquier perturbación originada en actividades humanas, esto es, sólo con los procesos naturales en actividad.

### **2.19 Norma de calidad de aire**

Es el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente. Los límites permisibles descritos en esta norma de calidad de aire ambiente se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados.

### **2.20 Norma de emisión**

Es el valor que señala la descarga máxima permisible de los contaminantes del aire definidos.

### **2.21 Olor ofensivo**

Es el olor, generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que produce molestia aunque no cause daño a la salud humana.

### **2.22 Partículas Sedimentables**

Material particulado, sólido o líquido, en general de tamaño mayor a 10 micrones, y que es capaz de permanecer en suspensión temporal en el aire ambiente.

### **2.23 US EPA**

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

## **3 CLASIFICACIÓN**

Esta norma establece los límites máximos permisibles de concentraciones de contaminantes comunes, a nivel del suelo, en el aire ambiente. La norma establece la presente clasificación:

Norma de calidad de aire ambiente

- a. Contaminantes del aire ambiente.



## PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

- b. Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente.
- c. Planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire.
- d. Métodos de medición de concentración de contaminantes comunes del aire ambiente.
- e. De las molestias o peligros inducidos por otros contaminantes del aire.

### 4 REQUISITOS

#### 4.1 Norma de calidad de aire ambiente

##### 4.1.1 De los contaminantes del aire ambiente

4.1.1.1 Para efectos de esta norma se establecen como contaminantes comunes del aire ambiente a los siguientes:

Partículas Sedimentables.

Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 (diez) micrones. Se abrevia  $PM_{10}$ .

Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 (dos enteros cinco décimos) micrones. Se abrevia  $PM_{2,5}$ .

Óxidos de Nitrógeno: NO y  $NO_2$ , y expresados como  $NO_2$ .

Dióxido de Azufre  $SO_2$ .

Monóxido de Carbono.

Oxidantes Fotoquímicos, expresados como Ozono.

4.1.1.2 La Entidad Ambiental de Control verificará, mediante sus respectivos programas de monitoreo, que las concentraciones a nivel de suelo en el aire ambiente de los contaminantes comunes no excedan los valores estipulados en esta norma. Dicha Entidad quedará facultada para establecer las acciones necesarias para, de ser el caso de que se excedan las concentraciones de contaminantes comunes del aire, hacer cumplir con la presente norma de calidad de aire. Caso contrario, las acciones estarán dirigidas a prevenir el deterioro a futuro de la calidad del aire.

4.1.1.3 La responsabilidad de la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente recaerá en la Entidad Ambiental de Control. Los equipos, métodos y procedimientos a utilizarse en la determinación de la concentración de contaminantes, tendrán como referencia a aquellos descritos en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (*Code of Federal Regulations, Anexos 40 CFR 50*).

4.1.1.4 La Entidad Ambiental de Control deberá demostrar, ante el Ministerio del Ambiente, que sus equipos, métodos y procedimientos responden a los requerimientos descritos en esta norma. De existir alguna desviación con respecto a la norma, se



## PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

deberá efectuar la debida justificación técnica a fin de establecer la validez, en uso oficial, de los resultados a obtenerse en la medición de concentraciones de contaminantes en el aire ambiente. La información que se recabe, como resultado de los programas públicos de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire, serán de carácter público.

4.1.1.5 La Entidad Ambiental de Control establecerá sus procedimientos internos de control de calidad y aseguramiento de calidad del sistema de monitoreo de calidad del aire ambiente en la región bajo su autoridad. Así mismo, la Entidad Ambiental de Control deberá definir la frecuencia y alcance de los trabajos, tanto de auditoría interna como externa, para su respectivo sistema de monitoreo de calidad de aire ambiente.

4.1.2 Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente

4.1.2.1 Para los contaminantes comunes del aire, definidos en 4.1.1, se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas. El Ministerio del Ambiente establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad de aire ambiente. La Entidad Ambiental de Control utilizará los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial. La Entidad Ambiental de Control podrá establecer normas de calidad de aire ambiente de mayor exigencia que los valores descritos en esta norma nacional, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe dicha Autoridad indicaren esta necesidad.

Partículas sedimentables.- La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ( $1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$ ).

Material particulado menor a 10 micrones (PM<sub>10</sub>).- El promedio aritmético de la concentración de PM<sub>10</sub> de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ( $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico ( $150 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.

Material particulado menor a 2,5 micrones (PM<sub>2,5</sub>).- Se ha establecido que el promedio aritmético de la concentración de PM<sub>2,5</sub> de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico ( $15 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder sesenta y cinco microgramos por metro cúbico ( $65 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.



## PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).**- El promedio aritmético de la concentración de SO<sub>2</sub> determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de ochenta microgramos por metro cúbico (80 µg/m<sup>3</sup>). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos por metro cúbico (350 µg/m<sup>3</sup>), más de una vez en un año.

**Monóxido de carbono (CO).**- La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico (10 000 µg/m<sup>3</sup>) más de una vez en un año. La concentración máxima en una hora de monóxido de carbono no deberá exceder cuarenta mil microgramos por metro cúbico (40 000 µg/m<sup>3</sup>) más de una vez en un año.

**Oxidantes fotoquímicos, expresados como ozono.**- La máxima concentración de oxidantes fotoquímicos, obtenida mediante muestra continua en un período de una hora, no deberá exceder de ciento sesenta microgramos por metro cúbico (160 µg/m<sup>3</sup>), más de una vez en un año. La máxima concentración de oxidantes fotoquímicos, obtenida mediante muestra continua en un período de ocho horas, no deberá exceder de ciento veinte microgramos por metro cúbico (120 µg/m<sup>3</sup>), más de una vez en un año.

**Óxidos de nitrógeno, expresados como NO<sub>2</sub>.**- El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como NO<sub>2</sub>, y determinada en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 µg/m<sup>3</sup>). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico (150 µg/m<sup>3</sup>) más de dos (2) veces en un año.

4.1.2.2 Los valores de concentración de contaminantes comunes del aire, establecidos en esta norma, así como los que sean determinados en los programas públicos de medición, están sujetos a las condiciones de referencia de 25 °C y 760 mm Hg.

4.1.2.3 Las mediciones observadas de concentraciones de contaminantes comunes del aire deberán corregirse de acuerdo a las condiciones de la localidad en que se efectúen dichas mediciones, para lo cual se utilizará la siguiente ecuación:

$$C_c = C_o * \frac{760 \text{ mmHg}}{P_{bl} \text{ mmHg}} * \frac{(273 + t^{\circ} \text{C})^{\circ} \text{K}}{298^{\circ} \text{K}}$$

donde:

*C<sub>c</sub>*: concentración corregida

*C<sub>o</sub>*: concentración observada

*P<sub>bl</sub>*: presión atmosférica local, en milímetros de mercurio.

*t*°C: temperatura local, en grados centígrados.

4.1.3 De los planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

4.1.3.1 La Entidad Ambiental de Control establecerá un Plan de Alerta, de Alarma y de Emergencia ante Situaciones Críticas de Contaminación del Aire, basado en el establecimiento de tres niveles de concentración de contaminantes. La ocurrencia de estos niveles determinará la existencia de los estados de Alerta, Alarma y Emergencia.

4.1.3.2 Se definen los siguientes niveles de alerta, de alarma y de emergencia en lo referente a la calidad del aire (Tabla 1). Cada uno de los tres niveles será declarado por la Entidad Ambiental de Control cuando uno o más de los contaminantes comunes indicados exceda la concentración establecida en la siguiente tabla, o cuando las condiciones atmosféricas se espera que sean desfavorables en las próximas 24 horas.

**Tabla 1. Concentraciones de contaminantes comunes que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire <sup>[1]</sup>**

CONTAMINANTE Y PERÍODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas	15 000	30 000	40 000
Oxidantes Fotoquímicos, expresados como ozono. Concentración promedio en una hora	300	600	800
Óxidos de Nitrógeno, como NO <sub>2</sub> Concentración promedio en una hora	1 200	2 300	3 000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas	800	1 600	2 100
Material Particulado PM <sub>10</sub> Concentración en veinticuatro horas	250	400	500

Nota:

<sup>[1]</sup> Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.





## PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

4.1.3.3 Cada plan contemplará la adopción de medidas que, de acuerdo a los niveles de calidad de aire que se determinen, autoricen a limitar o prohibir las operaciones y actividades en la zona afectada, a fin de preservar la salud de la población.

4.1.3.4 La Entidad Ambiental de Control podrá proceder a la ejecución de las siguientes actividades mínimas:

En Nivel de Alerta:

Informar al público, mediante los medios de comunicación, del establecimiento del Nivel de Alerta.

Restringir la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alerta para uno o más contaminantes específicos. Estas últimas acciones podrán consistir en limitar las actividades de mantenimiento de fuentes fijas de combustión, tales como soplado de hollín, o solicitar a determinadas fuentes fijas no reiniciar un proceso de combustión que se encuentre fuera de operación

En Nivel de Alarma:

Informar al público del establecimiento del Nivel de Alarma.

Restringir, e inclusive prohibir, la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alarma. Esto podrá incluir en limitar el tiempo de operación para aquellas fuentes fijas que no se encontraren en cumplimiento con las normas de emisión.

Suspender cualquier quema a cielo abierto.

En Nivel de Emergencia:

Informar al público del establecimiento del Nivel de Emergencia.

Prohibir la circulación y el estacionamiento de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de emergencia. Se deberá considerar extender estas prohibiciones a todo el conjunto de fuentes fijas de combustión, así como vehículos automotores, presentes en la región bajo responsabilidad de la Entidad Ambiental de Control.

Suspender cualquier quema a cielo abierto, e inclusive, proceder a combatir dichas quemas.

4.1.4 De los métodos de medición de los contaminantes comunes del aire ambiente

4.1.4.1 La responsabilidad de la determinación de las concentraciones de contaminantes comunes, a nivel de suelo, en el aire ambiente recaerá en la Entidad Ambiental de Control. Los equipos, métodos y procedimientos a utilizarse en la



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

determinación de la concentración de contaminantes, serán aquellos descritos en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (*Code of Federal Regulations*), y cuya descripción general se presenta a continuación.

**Tabla 2. Métodos de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire**

CONTAMINANTE	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
Partículas Sedimentables	<p><b>Nombre:</b> Método Gravimétrico, mediante Captación de Partículas en Envases Abiertos</p> <p><b>Referencia:</b> Method 502. Methods of Air Sampling and Analysis, 3rd. Edition, Intersociety Committee, Lewis Publishers, Inc. 1988.</p> <p><b>Descripción:</b> Se utilizará un envase, de 15 centímetros de diámetro o mayor, y con altura dos o tres veces el diámetro. La altura del envase, sobre el nivel de suelo, será de al menos 1,2 metros. Las partículas colectadas serán clasificadas en solubles e insolubles. Las partículas insolubles se determinarán mediante diferencia de peso ganado por un filtro de 47 mm, y que retenga aquellas partículas contenidas en el líquido de lavado del contenido del envase. En cambio, las partículas insolubles se determinarán mediante la diferencia de peso ganado por un crisol, en el cual se evaporará el líquido de lavado del envase. La concentración total de partículas sedimentables será la suma de partículas solubles e insolubles, normalizadas con respecto al área total de captación del envase.</p>
Material Particulado PM10	<p><b>Nombre:</b> Método Gravimétrico, mediante muestreador de alto caudal o de bajo caudal.</p> <p><b>Referencia:</b> 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix M.</p>

Continua...

...Continuación



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

**Tabla 2. Métodos de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire**

CONTAMINANTE	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
Material Particulado PM2,5	<p><b>Descripción:</b> el equipo muestreador, de alto caudal o de bajo caudal, estará equipado con una entrada aerodinámica capaz de separar aquellas partículas de tamaño superior a 10 micrones de diámetro aerodinámico. Las partículas menores a 10 micrones serán captadas en un filtro, de alta eficiencia, y la concentración se determinará mediante el peso ganado por el filtro, dividido para el volumen total de aire muestreado en un período de 24 horas.</p> <p><b>Métodos Alternos:</b> podrán ser también utilizados los denominados métodos de medición continua, tanto del tipo Microbalanza Oscilante como el tipo Atenuación Beta. En el primer caso, el equipo muestreador, equipado con entrada aerodinámica PM10, posee un transductor de masa de las oscilaciones inducidas por el material particulado. En el segundo tipo, el equipo muestreador, con entrada PM10, contiene una fuente de radiación beta que determina la ganancia de peso en un filtro, a medida que este experimenta acumulación de partículas.</p> <p><b>Nombre:</b> Método Gravimétrico, mediante muestreador de bajo caudal.</p> <p><b>Referencia:</b> 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix L.</p> <p><b>Descripción:</b> el equipo muestreador, de bajo caudal, estará equipado con una entrada aerodinámica capaz de separar aquellas partículas de tamaño superior a 2,5 micrones de diámetro aerodinámico. Las partículas menores a 2,5 micrones serán captadas en un filtro, y la concentración se determinará mediante el peso ganado por el filtro, dividido para el volumen total de aire muestreado en un período de 24 horas.</p> <p><b>Métodos Alternos:</b> podrán ser también utilizados los denominados métodos de medición continua, del tipo Microbalanza Oscilante o del tipo Atenuación Beta, según</p>



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

CONTAMINANTE	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
Dióxido de Azufre	se describió para material particulado PM10.  Nombre: Método de la Pararosanilina: absorción en medio líquido y análisis colorimétrico posterior. Analizador Continuo por Fluorescencia.

Continúa...

...Continuación

**Tabla 2. Métodos de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire**

CONTAMINANTE	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
	<p>Referencias: Método de la Pararosanilina: 40 CFR Part 50, Appendix A. Fluorescencia: Diferentes fabricantes cuyos equipos se encuentren aprobados por la agencia de protección ambiental de EE.UU.</p> <p>Descripción:</p> <p>Método de la Pararosanilina: el dióxido de azufre es absorbido en una solución de potasio o de tetracloromercurato de sodio (TCM). La muestra es acondicionada para evitar interferencias, en particular de metales y de agentes oxidantes, como ozono y óxidos de nitrógeno. La solución es tratada con formaldehído, ácido fosfórico y pararosanilina, a fin de mantener condiciones adecuadas de pH y de color. La concentración final se determina mediante colorímetro.</p> <p>Método Fluorescencia: la concentración de dióxido de azufre es determinada mediante la medición de la señal fluorescente generada al excitar a dicho compuesto en presencia de luz ultravioleta.</p>



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

CONTAMINANTE	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
Monóxido de Carbono	<p><b>Nombre:</b> Analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR)</p> <p><b>Referencia:</b> 40 CFR Part 50, Appendix C.</p> <p><b>Descripción:</b> el principio de medición consiste en determinar la concentración de monóxido de carbono mediante el cambio en absorción de energía infrarroja en diferentes longitudes de onda.</p>
Oxidantes Fotoquímicos (como O <sub>3</sub> )	<p><b>Nombre:</b> Quimiluminiscencia Fotómetro ultravioleta</p> <p><b>Referencia:</b> 40 CFR Part 50, Appendix D.</p> <p><b>Descripción:</b> el principio de medición, para equipos con quimiluminiscencia, es la mezcla de aire con etileno, produciendo la reacción de el ozono. Esta reacción libera luz (reacción quimiluminiscente), la cual es medida en un tubo fotomultiplicador.</p> <p>Para el caso de equipos con fotómetro ultravioleta, el principio de medición consiste en determinar la cantidad de luz absorbida a una longitud de onda de 254 nanómetros.</p>

Continua...

...Continuación

**Tabla 2. Métodos de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire**

CONTAMINANTE	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
Óxidos de Nitrógeno (como NO <sub>2</sub> )	<p><b>Nombre:</b> Quimiluminiscencia</p> <p><b>Referencia:</b> 40 CFR Part 50, Appendix F.</p> <p><b>Descripción:</b> el NO<sub>2</sub> es convertido en NO, el cual</p>



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

CONTAMINANTE	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
	reacciona con ozono introducido expresamente, produciendo luz en la reacción. El instrumento permite la presentación de resultados para concentraciones tanto de NO <sub>2</sub> como de NO.

4.1.5 De las molestias o peligros inducidos por otros contaminantes del aire

4.1.5.1 Para fines de esta norma, la Entidad Ambiental de Control podrá solicitar evaluaciones adicionales a los operadores o propietarios de fuentes que emitan, o sean susceptibles de emitir, olores ofensivos o contaminantes peligrosos del aire. De requerirse, se establecerán los métodos, procedimientos o técnicas para la reducción o eliminación en la fuente, de emisiones de olores o de contaminantes peligrosos del aire.