

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Diseño y Cálculo de un Sistema de Extracción Localizada de  
Humos Metálicos y Gases Provenientes del Proceso de  
Soldadura”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Henry Edison Carrillo Álvarez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2011

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, a mis padres, hermano, familiares y amigos por todo su apoyo y consejos brindados. En especial al Ing. Manuel Helguero, por su ayuda y colaboración para la realización de este trabajo.

## DEDICATORIA

A mis padres: Luis Carrillo  
Arcos y Aida Álvarez  
Campaña, por todo el amor,  
paciencia Y apoyo  
incondicional brindado en todo  
momento de mi vida. A mis  
hijas Samantha, Samira y  
Sabrina Carrillo Ríos por todo  
el cariño que día a día me dan,  
a mi esposa Fanny Ríos por  
toda su comprensión, a mis  
familiares, seres queridos y  
amigos por recordarme  
constantemente el terminar mi  
carrera.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Gustavo Guerrero M.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



Ing. Manuel Helguero G.  
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Julián Peña E.  
VOCAL



## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de graduación de la ESPOL).

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'H. Carrillo', is written over a horizontal line.

Henry Edison Carrillo Álvarez

## RESUMEN

La presente tesis trata sobre el Diseño de un Sistema de Extracción Localizada de Humos Metálicos y Gases provenientes de los Procesos de Soldadura.

El objetivo de esta tesis es presentar el diseño ingenieril de un sistema de extracción localizada para humos y gases provenientes del proceso de Soldadura que brindará una solución real, disminuyendo la contaminación ambiental y evitando que se originen enfermedades profesionales a las personas que se involucran en este tipo de labores.

El Sistema General tendrá la particularidad de retener en el proceso partículas de hasta  $3\text{ }\mu\text{m}$  provenientes de los humos y gases de Procesos de Soldadura, útil para evitar las enfermedades profesionales al personal que realiza éstas tareas.

El Sistema constará con un Ventilador Principal de 90 KW a 2200 rpm. con un caudal  $Q_{\text{ramal2}} = 50544\text{ m}^3/\text{h.}$  para extraer partículas en el Ramal 2 y de un Ventilador Auxiliar de 18.5 KW. a 3150 rpm. con un caudal de  $Q_{\text{ramal1}} = 5760\text{ m}^3/\text{h.}$  para extraer partículas en el Ramal 1.

Se utilizará para el diseño: bibliografía ingenieril, cálculos manuales, herramientas tecnológicas, estándares nacionales e internacionales; y a continuación se seleccionarán los equipos y componentes adecuados, para finalmente evaluar técnica y económicamente el Sistema General, y de éste modo obtener a las conclusiones y recomendaciones necesarias.

Quedan fuera del alcance de la presente tesis el diseño de la instalación eléctrica y del sistema de control de los equipos y subsistemas, sin embargo se deja libre la opción de mejorar el diseño mediante otros diseños adaptativos que puedan contribuir a su mejoramiento tecnológico y funcional.

.

## ÍNDICE GENERAL

|                        | Pág. |
|------------------------|------|
| RESUMEN.....           | II   |
| ÍNDICE GENERAL.....    | IV   |
| ABREVIATURAS.....      | VI   |
| SIMBOLOGÍA.....        | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XI   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....  | XIII |
| ÍNDICE DE PLANOS.....  | XIV  |
| INTRODUCCIÓN.....      | 1    |

### CAPÍTULO 1

|                                                                |   |
|----------------------------------------------------------------|---|
| 1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....                                  | 3 |
| 1.1 Objetivos del Sistema.....                                 | 3 |
| 1.2 Determinación de los Problemas que se desean eliminar..... | 4 |

### CAPÍTULO 2

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2. DISEÑO Y CÁLCULOS PRELIMINARES DE LOS SISTEMAS. ....                             | 12 |
| 2.1 Consideraciones Básicas para el Control de la Contaminación<br>Atmosférica..... | 12 |
| 2.2 Fundamentos del Control de Partículas. ....                                     | 22 |
| 2.3 Determinación de los Equipos Necesarios para el Proceso. ....                   | 25 |

### CAPÍTULO 3

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3. DISEÑO Y CÁLCULOS DE LOS COMPONENTES DEL PROCESO. ....                              | 43 |
| 3.1 Diseño y Cálculo de la Campana de Aspiración con sus Conductos y Ventiladores..... | 43 |
| 3.2 Diseño y Cálculo del Ciclón.....                                                   | 66 |
| 3.3 Diseño y Cálculo del Filtro de Mangas .....                                        | 71 |
| 3.4 Cálculo para la Selección de los Precipitadores Electrostáticos.....               | 77 |
| 3.5 Cálculo para la Selección del Ventilador. ....                                     | 84 |
| 3.6 Diseño y Cálculo del Lavador Venturi.....                                          | 88 |
| 3.7 Diseño y Cálculo de la Chimenea.....                                               | 92 |

### CAPÍTULO 4

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CAPÍTULO 1 .....                                                                          | 3  |
| 1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....                                                             | 3  |
| 1.1 <b>Objetivos del Sistema.</b> .....                                                   | 3  |
| 1.2 <b>Determinación de los Problemas que se Desean Eliminar.</b> .....                   | 4  |
| FIGURA 1.1. POLVO METÁLICO DE SOLDADURA.....                                              | 7  |
| FIGURA 1.2. FORMACIÓN DE HUMOS METÁLICOS Y GASES POR PROCESOS DE SOLDADURA AL ARCO. ....  | 8  |
| TABLA 1.....                                                                              | 9  |
| ORIGEN Y EFECTOS NOCIVOS DE LOS HUMOS METÁLICOS Y GASES [2].....                          | 9  |
| FIGURA 1.3. TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN EL AIRE EN MICRAS. [2] .....                          | 10 |
| TABLA 2.....                                                                              | 11 |
| TLVs DE AGENTES QUÍMICOS NOCIVOS [4].....                                                 | 11 |
| CAPÍTULO 2 .....                                                                          | 12 |
| 2. DISEÑO Y CÁLCULOS PRELIMINARES DE LOS SISTEMAS. ....                                   | 12 |
| 2.1 <b>Consideraciones Básicas para el Control de la Contaminación Atmosférica.</b> ..... | 12 |

|                                                                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2.2 Fundamentos del Control de Partículas .....</b>                                                                           | <b>22</b> |
| FIGURA 2.1. DISPOSICIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN,<br>DEPURACIÓN Y EVACUACIÓN [5] .....                                 | 23        |
| <b>2.3 Determinación de los equipos necesarios para el proceso.....</b>                                                          | <b>25</b> |
| TABLA 3.....                                                                                                                     | 26        |
| FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO [4] .....                                                                                     | 26        |
| FIGURA 2.2. RECOLECCIÓN DE PARTÍCULAS DEL CICLÓN [5] .....                                                                       | 27        |
| FIGURA 2.3. EFICACIA DE LOS CICLONES [5] .....                                                                                   | 28        |
| FIGURA 2.4. LAVADOR VENTURI [5].....                                                                                             | 30        |
| FIGURA 2.5. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN PRECIPITADOR<br>ELECTROSTÁTICO [5] .....                                           | 32        |
| FIGURA 2.6. (a) GENERACIÓN DE CORONA (b) MULTIPLICACIÓN DE<br>AVALANCHA [5] .....                                                | 34        |
| FIGURA 2.7. FILTRO DE MANGAS [5] .....                                                                                           | 34        |
| FIGURA 2.8. FILTRO DE IMPULSO DE AIRE COMPRIMIDO [12] .....                                                                      | 37        |
| <b>FIGURA 2.9. RANGO DE CAPTURA DE EQUIPOS DE CONTROL.....</b>                                                                   | <b>37</b> |
| <b>FIGURA 2.10. (a) VENTILADOR CENTRÍFUGO (b) VENTILADOR AXIAL .....</b>                                                         | <b>38</b> |
| <b>FIGURA 2.11. TIPOS DE CAMPANAS DE ASPIRACIÓN (a) CERRAMIENTOS (b)<br/>CAMPANAS RECEPTORAS (c) CAMPANAS CAPTORAS [5] .....</b> | <b>40</b> |
| <b>FIGURA 2.12. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA [2]</b>                                                          |           |
| 42                                                                                                                               |           |
| <b>CAPÍTULO 3.....</b>                                                                                                           | <b>43</b> |
| <b>3. DISEÑO Y CÁLCULOS DE LOS COMPONENTES DEL PROCESO. ....</b>                                                                 | <b>43</b> |
| 3.1 Diseño y Cálculo de la Campana de Aspiración con sus Conductos y Ventiladores. ....                                          | 43        |
| FIGURA 3.1. HUMOS Y GASES A CONTROLAR .....                                                                                      | 44        |
| TABLA 4.....                                                                                                                     | 44        |
| LÍMITES PERMISIBLES DE HUMOS Y GASES DE SOLDADURA.....                                                                           | 44        |
| TABLA 5.....                                                                                                                     | 45        |
| DATOS DE GENERACIÓN DE HUMOS [3].....                                                                                            | 45        |
| FIGURA 3.2. VELOCIDADES DE CAPTURA PARA DISTINTOS CONTAMINANTES                                                                  |           |
| [5] 49                                                                                                                           |           |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 3.3. SECTORES PARA EXTRACCIÓN LOCALIZADA .....                             | 50 |
| FIGURA 3.4. RANURA CIRCULAR CON FUENTE REDONDA [13].....                          | 51 |
| FIGURA 3.5. INFLUENCIA DE CONFIGURACIÓN EN LA ENTRADA DE LA<br>CAMPANA [13] ..... | 55 |
| FIGURA 3.6. CAMPANAS DE EXTRACCIÓN .....                                          | 56 |
| FIGURA 3.7. VELOCIDADES MÍNIMAS DE TRANSPORTE DE CONDUCTOS [5]...                 | 57 |
| TABLA 6.....                                                                      | 59 |
| DIÁMETROS DE DUCTOS.....                                                          | 59 |
| TABLA 7.....                                                                      | 61 |
| PÉRDIDAS EN TRAMOS DE DUCTOS.....                                                 | 61 |
| TABLA 8.....                                                                      | 62 |
| PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR RAMAL .....                                               | 62 |
| FIGURA 3.8. ESPESOR DE DUCTOS .....                                               | 65 |
| 3.2 Diseño y Cálculo del Ciclón.....                                              | 66 |
| FIGURA 3.9. RELACIONES GEOMÉTRICAS DE UN CICLÓN [5].....                          | 66 |
| TABLA 9.....                                                                      | 68 |
| RESULTADOS DE PARÁMETROS DEL CICLÓN .....                                         | 68 |
| TABLA 10.....                                                                     | 70 |
| PÉRDIDA DE PRESIÓN DEL CICLÓN.....                                                | 70 |
| 3.3 Diseño y Cálculo del Filtro de Mangas .....                                   | 71 |
| TABLA 11.....                                                                     | 74 |
| PÉRDIDA DE PRESIÓN DEL FILTRO DE MANGAS .....                                     | 74 |
| TABLA 12.....                                                                     | 76 |
| ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL FILTRO DE MANGAS .....                              | 76 |
| 3.4 Cálculos para la Selección de los precipitadores electrostáticos. ....        | 77 |
| FIGURA 3.10. PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO - ESQUEMA [5].....                       | 78 |
| FIGURA 3.11. RECOLECCIÓN DE POLVO Y NIVELES DE VOLTAJE Y CORRIENTE<br>[5] .....   | 79 |
| FIGURA 3.12. RECOLECCIÓN EFECTIVA DE UN PRECIPITADOR<br>ELECTROSTÁTICO [5] .....  | 80 |
| FIGURA 3.13. EFICACIA Y VELOCIDAD DE MIGRACIÓN [5].....                           | 81 |
| FIGURA 3.14. COMPONENTES DE CAÍDA DE PRESIÓN PES [19].....                        | 82 |
| 3.5 Cálculos para la Selección del Ventilador. ....                               | 84 |
| FIGURA 3.15. CURVA CARACTERÍSTICA DE VENTILADOR 1. ....                           | 86 |

|                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| TABLA 13.....                                                       | 87         |
| PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO VENTILADOR 1.....                      | 87         |
| FIGURA 3.16. CURVA CARACTERÍSTICA DE VENTILADOR 2. ....             | 87         |
| 3.6 Diseño y Cálculo del Lavador Venturi. ....                      | 88         |
| FIGURA 3.17. LAVADOR VENTURI [10].....                              | 88         |
| FIGURA 3.18. LAVADOR VENTURI DISEÑADO. ....                         | 91         |
| 3.7 Diseño y Cálculo de la Chimenea. ....                           | 92         |
| FIGURA 3.19. CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE LA CHIMENEA .....              | 94         |
| <b>CAPÍTULO 4.....</b>                                              | <b>101</b> |
| <b>4. ANÁLISIS DE COSTOS. ....</b>                                  | <b>101</b> |
| FIGURA 4.1. ELEMENTOS DE INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL [19]. ....      | 102        |
| FIGURA 4.2. ELEMENTOS DE INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL ANUAL [19]. ... | 103        |
| FIGURA 4.3. PARÁMETROS PARA COSTO DE LA CAMPANA [19]. ....          | 104        |
| FIGURA 4.4. PARÁMETROS PARA COSTO DE CONDUCTO RECTO [19]. ....      | 105        |
| FIGURA 4.5. PARÁMETROS PARA COSTO DE CODOS Y VÁLVULAS ACERO [19].   |            |
| 106                                                                 |            |
| FIGURA 4.6. PARÁMETROS PARA COSTO DE CHIMENEAS [19]. ....           | 106        |
| TABLA 14.....                                                       | 108        |
| COSTOS DIRECTOS ANUALES DE EQUIPOS (A).....                         | 108        |
| TABLA 15.....                                                       | 108        |
| COSTOS TOTALES ANUALES DE EQUIPOS (A) .....                         | 108        |
| TABLA 16.....                                                       | 109        |
| COSTOS TOTAL FILTRO DE MANGAS.....                                  | 109        |
| TABLA 17.....                                                       | 110        |
| COSTO DEL PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO .....                         | 110        |
| TABLA 18.....                                                       | 111        |
| COSTO DE EQUIPOS ADICIONALES AL VENTURI.....                        | 111        |
| TABLA 19.....                                                       | 112        |
| INVERSIÓN DEL CAPITAL TOTAL .....                                   | 112        |
| <b>Estudio de Rentabilidad. ....</b>                                | <b>112</b> |
| TABLA 20.....                                                       | 114        |
| COSTO TOTAL DE INDEMNIZACIONES .....                                | 114        |
| <b>CAPÍTULO 5.....</b>                                              | <b>115</b> |
| <b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>                       | <b>115</b> |
| <b>Conclusiones. ....</b>                                           | <b>115</b> |
| <b>Recomendaciones. ....</b>                                        | <b>116</b> |



|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 4. ANÁLISIS DE COSTOS. .... | 101 |
|-----------------------------|-----|

## CAPÍTULO 5

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 115 |
|----------------------------------------|-----|

## APÉNDICES

## BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

|                          |                                                  |
|--------------------------|--------------------------------------------------|
| ACGIH                    | <i>mm Hg</i>                                     |
| TLV                      | <i>°K</i>                                        |
| <i>Kg</i>                | <i>mbar</i>                                      |
| <i>g</i>                 | <i>etc.</i>                                      |
| <i>h</i>                 | <i>d<sub>p</sub></i>                             |
| <i>μm</i>                | <i>g/cm<sup>3</sup></i>                          |
| <i>%</i>                 | <i>EPA</i>                                       |
| <i>Cr VI</i>             | <i>m/s</i>                                       |
| <i>MSDS</i>              | <i>bar</i>                                       |
| <i>AWS</i>               | <i>mm</i>                                        |
| <i>PM<sub>10</sub></i>   | <i>KV</i>                                        |
| <i>PM<sub>2.5</sub></i>  | <i>cm</i>                                        |
| <i>NO</i>                | <i>g/m<sup>3</sup></i>                           |
| <i>NO<sub>2</sub></i>    | <i>Ar</i>                                        |
| <i>SO<sub>2</sub></i>    | <i>He</i>                                        |
| <i>mg/cm<sup>2</sup></i> | Conference of Governmental Industrial Hygienists |
| <i>μg/m<sup>3</sup></i>  | Thresold limite value (Valor límite umbral)      |
| <i>CO</i>                | Kilogramo                                        |
| <i>°C</i>                | Gramo                                            |

|              |                                 |
|--------------|---------------------------------|
| hora         | Gramo por Centímetro cúbico     |
| Micra        | Environmental Protection Agency |
| Por ciento,  | Metro por Segundo               |
| Porcentaje   | bar                             |
| Cromo        | Milímetro                       |
| Hexavalente  | Kilovoltio                      |
| Material     | Centímetro                      |
| Safety Data  | Gramo por metro cúbico          |
| Sheets       | Argón                           |
| American     | Helio                           |
| Welding      |                                 |
| Society      | NO <sub>x</sub>                 |
| Material     | H                               |
| Particulado  | CO <sub>2</sub>                 |
| menor a 10   | O <sub>3</sub>                  |
| µm           | HF                              |
| Material     | mg/m <sup>3</sup>               |
| Particulado  | Cd                              |
| menor a 2.5  | Zn                              |
| µm           | Ni                              |
| Monóxido de  | Pb                              |
| Nitrógeno    | Co                              |
| Dióxido de   | Mn                              |
| Nitrógeno    | SMAW                            |
| Dióxido de   | GMAW                            |
| azufre       | FCAW                            |
| Miligramo    | g/min                           |
| por          | Kg/año                          |
| centímetro   | ANSI                            |
| cuadrado     | Kpsi                            |
| Microgramo   | GPM                             |
| por metro    | A                               |
| cúbico       | V                               |
| Monóxido de  | Kg/mes                          |
| Carbono      | Kg/100Kg                        |
| Grado        | m.s.n.m                         |
| Centígrado   | KPa                             |
| Milímetro de | m/s.                            |
| mercurio     | k/m <sup>3</sup>                |
| Grado Kelvin | µNs/m <sup>2</sup>              |
| Milibar      | m <sup>2</sup> /s               |
| Etcétera     | m/s <sup>s</sup>                |
| Diámetro de  |                                 |
| partícula    | bar                             |

|                    |                                                            |
|--------------------|------------------------------------------------------------|
| $J/(Kg. ^\circ K)$ | Gas Metal Arc Welding                                      |
| $m^2 K/W$          | Flux Cored Arc Welding                                     |
| $W/m^2$            | Gramo por minuto                                           |
| $m/seg$            | Kilogramo por año                                          |
| $SI$               | American National Standards Institute                      |
| $TN$               | Kilo Pounds Square inch (Kilo Libras por pulgada cuadrada) |
| $Kwh$              | Galones por minuto                                         |
| $H$                | Amperaje                                                   |
| $\$$               | Voltaje                                                    |
| $CE, CEV$          | Kilogramo por mes                                          |
| $AWS$              | Kilogramo por cada 100 Kg de Electrodo                     |
| Óxidos             | Metros sobre el nivel del mar                              |
| Nitrosos           | Kilopascal                                                 |
| Hidrógeno          | Metro por segundo                                          |
| Dióxido de         | Kilogramo por metro cúbico                                 |
| Carbono            | MicroNewton segundo por metro cuadrado                     |
| Ozono              | Metro cuadrado por segundo                                 |
| Fluoruro de        | Metro por segundo al cuadrado                              |
| Hidrógeno          | Segundo                                                    |
| miligramo          | Bar.                                                       |
| por metro          | Joule por Kilogramo Grado Kelvin                           |
| cúbico             | Metro cuadrado Grado Kelvin por Watio                      |
| Cadmio             | Watio por metro cuadrado                                   |
| Zinc               | Metro por segundo                                          |
| Níquel             | Sistema Internacional de Unidades                          |
| Plomo              | Tonelada                                                   |
| Cobalto            | Kilowatio hora                                             |
| Manganeso          | Hora                                                       |
| Shielded           | Dólar                                                      |
| Metal              | ArcCosto Total de Explotación, Costo Anual                 |
| Welding            | American Welding Society                                   |

## SIMBOLOGÍA

|             |             |
|-------------|-------------|
| $t_o^{act}$ | $K_3$       |
| $t_o^{sed}$ | $V_{cap} V$ |
| $R_{CL}$    | $K_4$       |
| $M$         | $Q_o^*$     |
| $V_{cap H}$ | $d$         |
| $\rho_{HM}$ | $D_2$       |
| $d_p$       | $D_1$       |
| $K_2$       | $q_{conv}$  |

|                                                                        |                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| $q_{\text{conv hor}}$                                                  | densidad de las partículas sólidas (polvos metálicos), $\text{Kg/m}^3$ .        |
| $q_{\text{conv vert}}$                                                 | diámetro de partícula, $\mu\text{m}$ , m.                                       |
| $K_1$                                                                  | Constante adimensional igual a 132.4 en el SI                                   |
| $K_v$                                                                  | Constante adimensional igual a 998 en el SI                                     |
| $V_r$                                                                  | Velocidad de captación en ductos verticales, m/s.                               |
| $h_{\text{camp}}$                                                      | Constante adimensional igual a 566 en el SI                                     |
| $h_{\text{HM}}$                                                        | Tasa de Flujo volumétrico para la extracción, $\text{m}^3/\text{s}$ .           |
| $T_s$                                                                  | Diámetro de la Fuente, m.                                                       |
| $T_\infty$                                                             | Diámetro exterior de la Campana, m                                              |
| $Q_o$                                                                  | Diámetro interior de la Campana, m.                                             |
| $K_5$                                                                  | Calor de Convección de la fuente, W.                                            |
| $V_{\text{cap}}$                                                       | Calor de Convección de la fuente superficie horizontal, W.                      |
| $A_o$                                                                  | Calor de Convección de la fuente superficie vertical, W.                        |
| $G$                                                                    | Coeficiente adimensional usando la <i>Figura 3.4</i> .                          |
| $C_{\text{exp(min)}}$                                                  | Coeficiente de acuerdo al movimiento del aire en el local $V_r$ .               |
| $V_x$                                                                  | Velocidad dentro del local, m/s.                                                |
| $x$                                                                    | Altura de la campana, m.                                                        |
| $\alpha$                                                               | Coeficiente de transferencia de calor de convección de Gases.                   |
| $d_{\text{camp}}$                                                      | Temperatura de Fusión del Acero, $1530^\circ\text{C}$ .                         |
| $\delta$                                                               | Temperatura Ambiente, $26^\circ\text{C}$ .                                      |
| $L$                                                                    | Tasa de Flujo volumétrico dependiendo del contaminante, $\text{m}^3/\text{s}$ . |
| $B$                                                                    | Coeficiente dependiente del diseño de la Campana.                               |
| $h$                                                                    | Velocidad de Captura, m/s.                                                      |
| Temperatura operativa para condiciones sedentarias, $^\circ\text{C}$ . | Área de abertura de la Campana, $\text{m}^2$ .                                  |
| Temperatura operativa para condiciones sedentarias, $^\circ\text{C}$ . | Cantidad de Contaminante emitida por la fuente, mg/s                            |
| Aislamiento de la ropa, $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K/W}$ .       | Límite inferior de explosividad de los contaminantes, $\text{mg/m}^3$           |
| Tasa Metabólica $\text{W/m}^2$                                         | Velocidad del aire a la distancia x, m/s.                                       |
| Velocidad de captación en ductos horizontales, m/s.                    | Temperatura Distancia desde la Campana, m.                                      |
|                                                                        | Ángulo de Inclinación de la Campana, $^\circ$ .                                 |
|                                                                        | Diámetro de la campana, mm.                                                     |
|                                                                        | Factor de corrección de diseño de Campana según Figura 3.5                      |
|                                                                        | Longitud proyectada según inclinación de Campana, mm Fig 3.5                    |
|                                                                        | Radio de la Campana, mm según Figura 3.5                                        |
|                                                                        | Longitud proyectada según inclinación de Campana, mm Fig 3.5                    |
|                                                                        | $Q_{\text{ramal}}$                                                              |
|                                                                        | $v$                                                                             |
|                                                                        | $A_t$                                                                           |
|                                                                        | $d_{\text{ducto}}$                                                              |
|                                                                        | $VP$                                                                            |
|                                                                        | $h_e$                                                                           |
|                                                                        | $h_L$                                                                           |
|                                                                        | $L_{\text{ramal1}}$                                                             |
|                                                                        | $h_{e90}$                                                                       |
|                                                                        | $h_{e45}$                                                                       |

|                                                         |                                                                          |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $h_T$                                                   | de los contaminantes, $m^2$ .                                            |
| $h_Y$                                                   | Diámetro del ducto, mm                                                   |
| $h_{ech}$                                               | Presión dinámica, mm c.d.H <sub>2</sub> O                                |
| $L_{ramal2}$                                            | Perdidas a la entrada de la Campana, mm c.d.H <sub>2</sub> O             |
| $SP$                                                    | Perdidas en la Longitud del ramal de la Campana, mm c.d.H <sub>2</sub> O |
| $P$                                                     | Longitud del ramal 1, mm.                                                |
| $D_o$                                                   | Perdidas en codos de 90°, mm c.d.H <sub>2</sub> O                        |
| $C$                                                     | Perdidas en codos de 45°, mm c.d.H <sub>2</sub> O                        |
| $S$                                                     | Perdida total en el Ramal, mm c.d.H <sub>2</sub> O                       |
| $E$                                                     | Perdidas en conexiones Y, mm c.d.H <sub>2</sub> O                        |
| $Y$                                                     | Perdidas en salidas de la chimenea, mm c.d.H <sub>2</sub> O              |
| $t_m$                                                   | Longitud del ramal 2, mm.                                                |
| $\eta$                                                  | Presión estática o Cabezal estático, mm c.d.H <sub>2</sub> O             |
| $N_e$                                                   | Presión de diseño, KPa, mm c.d.H <sub>2</sub> O                          |
| $V_g$                                                   | Diámetro externo de la tubería, m.                                       |
| $\mu_g$                                                 | Suma de tolerancias debidas a corrosión, erosión, etc.                   |
| $H_2$                                                   | Esfuerzo permisible, MPa                                                 |
| $H_1$                                                   | Factor de calidad, Coeficiente para tubo Venturi.                        |
| $H$                                                     | Coeficientes materiales ferrosos dúctiles, no dúctiles y frágiles.       |
| $W_i$                                                   | Espesor mínimo requerido, mm.                                            |
| $D_e$                                                   | Eficacia, %                                                              |
| $D_d$                                                   | Número de vueltas efectivas                                              |
| $D_o$                                                   | Velocidad del gas, m/s.                                                  |
| $\Delta P$                                              | Viscosidad del gas. Ns/m <sup>2</sup>                                    |
| $H_v$                                                   | Factor Geométrico de la <i>Figura 3.8</i>                                |
| $K$                                                     | Factor Geométrico de la <i>Figura 3.8</i>                                |
| $P_{e(\Delta W)}$                                       | Factor Geométrico de la <i>Figura 3.8</i>                                |
| $V_{filtración}$                                        | Factor Geométrico de la <i>Figura 3.8</i>                                |
| $P_j$                                                   | Factor Geométrico de la <i>Figura 3.8</i>                                |
| $K_r$                                                   | Factor Geométrico de la <i>Figura 3.8</i>                                |
| $W_o$                                                   | Factor Geométrico de la <i>Figura 3.8</i>                                |
| $V_{filtración}$                                        | Caída o Pérdida de Presión, Pa, mm c.d.H <sub>2</sub> O                  |
| $C_i$                                                   | Número de cargas de velocidad que depende del ciclón                     |
| $t$                                                     | Constante empírica del Fabricante del ciclón, K=16                       |
| Caudal del                                              | Perdida de presión cuando las mangas están limpias, KPa                  |
| Ramal a ser                                             | Velocidad de filtración, m/s                                             |
| analizado,                                              | Presión con que se inyectan los pulsos de aire comprimido, KPa           |
| $m^3/s$ , $m^3/h$ .                                     | Resistencia al flujo por acumulación de polvo, $K_r=150000$              |
| Velocidad de Masa de polvo como una función del tiempo. |                                                                          |
| sustentación                                            | Velocidad de filtración, m/s                                             |
| del sistema,                                            | Cantidad de polvo que circula por unidad de volume de gas.               |
| 23 m/s.                                                 | Tiempo entre pulsos de aire comprimido para limpiar manga, s             |
| Área de                                                 | $\eta_{rp}$                                                              |
| circulación                                             | $A_{re}$                                                                 |

|                             |                                                                                       |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q_{gas}$                   | precipitador, %.                                                                      |
| $\omega$                    | Área de recolección efectiva, $m^2$                                                   |
| $K_z$                       | Caudal de gas a través del precipitador, $m^3/s$ .                                    |
| SCA                         | Velocidad de migración de las partículas, $m/s$ .                                     |
| $V_g$                       | Coeficiente de corrección, $K = 0.4 - 0.6$ .                                          |
| $Q_L$                       | Superficie Colectora Específica. $A_{re}/Q_{gas}$ , $m^2/m^3/s=s/m$                   |
| $Q_G$                       | Velocidad del gas en la garganta, $cm/s$ .                                            |
| $C$                         | Caudal del líquido, $m^3/s$ .                                                         |
| $Y_e$                       | Caudal del gas, $m^3/s$ .                                                             |
| $A_d$                       | Coeficiente para tubo Venturi.                                                        |
| $\rho_g$                    | Factor de expansion.                                                                  |
| $h_s$                       | Área de la garganta, $m^2$ .                                                          |
| $h_h$                       | Densidad del Gas, $Kg/m^3$                                                            |
| $v_s$                       | Altura de la chimenea, $m$ .                                                          |
| $d_{ch}$                    | Elevación del penacho, $m$ .                                                          |
| $Q_h$                       | Velocidad a la salida de la chimenea, $m/s$ .                                         |
| $v_v$                       | Diámetro a la salida de la chimenea, $m$ .                                            |
| $X_g$                       | Rapidez de emisión de calor, $cal/s$ .                                                |
|                             | Velocidad media del viento, $m/s$ .                                                   |
| $C_h$                       | Concentración de contaminante, a distancia $x$ de la base de la chimenea, ppm en vol. |
| $a$                         |                                                                                       |
| $b$                         | Costo de la Campana (\$).                                                             |
| $C_d$                       | Parámetro de la ecuación de regresión.                                                |
| $D_c$                       | Parámetro de la ecuación de regresión.                                                |
| $p_c$                       | Costo del ducto recto, (\$/pie).                                                      |
| $Q_{gas}$                   | Diámetro del conducto, (pulg.)                                                        |
| $F_d$                       | Precio de la electricidad, (\$/KWh)                                                   |
| $\Theta$                    | Flujo de gas, ( $ft^3/min$ reales)                                                    |
| $\epsilon$                  | Caída de Presión en el sistema de ventilación, (pulg.c.d. $H_2O$ )                    |
|                             | Factor de operación, (h/año)                                                          |
|                             | Eficiencia combinada ventilador/motor = 0.75                                          |
| Eficacia de recolección del |                                                                                       |

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1. Polvo Metálico de Soldadura .....                                                                                    | 7  |
| Figura 1.2. Formación de Humos Metálicos y Gases por Procesos de Soldadura al Arco. ....                                         | 8  |
| Figura 1.3. Tamaño de Partículas en el Aire en Micras. ....                                                                      | 10 |
| Figura 2.1. Disposición General de un Sistema de Captación, Depuración y Evacuación .....                                        | 23 |
| Figura 2.2. Recolección de Partículas del Ciclón .....                                                                           | 27 |
| Figura 2.3. Eficacia de los Ciclones .....                                                                                       | 28 |
| Figura 2.4. Lavador Venturi .....                                                                                                | 30 |
| Figura 2.5. Principio de Funcionamiento de un Precipitador Electrostático .....                                                  | 32 |
| Figura 2.6. (a) Generación de Corona (b) Multiplicación de Avalancha .....                                                       | 34 |
| Figura 2.7. Filtro de Mangas .....                                                                                               | 34 |
| Figura 2.8. Filtro de Impulso de Aire Comprimido .....                                                                           | 37 |
| Figura 2.9. Rango de Captura de Equipos de Control .....                                                                         | 37 |
| Figura 2.10 (a) Ventilador Centrífugo (b) Ventilador Axial .....                                                                 | 37 |
| Figura 2.11 Tipos de Campanas de Aspiración .....                                                                                | 40 |
| Figura 2.12 Eficiencia del Sistema de Extracción Localizada (a) Cerramientos (b) Campanas Receptoras (c) Campanas Captoras ..... | 42 |
| Figura 3.1. Humos y Gases a Controlar .....                                                                                      | 44 |
| Figura 3.2. Velocidades de Captura para Distintos Contaminantes .....                                                            | 49 |
| Figura 3.3. Sectores para Extracción Localizada .....                                                                            | 50 |
| Figura 3.4. Ranura Circular con Fuente Redonda .....                                                                             | 51 |
| Figura 3.5. Influencia de Configuración en la Entrada de la Campana .....                                                        | 55 |
| Figura 3.6. Campanas de Extracción .....                                                                                         | 56 |
| Figura 3.7. Velocidades Mínimas de Transporte de Conductos .....                                                                 | 57 |
| Figura 3.8. Espesor de Ductos .....                                                                                              | 65 |
| Figura 3.9. Relaciones Geométricas de un Ciclón .....                                                                            | 66 |
| Figura 3.10. Precipitador Electrostático - Esquema .....                                                                         | 78 |
| Figura 3.11. Recolección de Polvo y Niveles de Voltaje y Corriente .....                                                         | 79 |
| Figura 3.12. Recolección Efectiva de un Precipitador Electrostático .....                                                        | 80 |
| Figura 3.13. Eficacia y Velocidad de Migración .....                                                                             | 81 |
| Figura 3.14. Componentes de Caída de Presión PES .....                                                                           | 82 |
| Figura 3.15. Curva Característica de Ventilador 1. ....                                                                          | 86 |
| Figura 3.16. Curva Característica de Ventilador 2. ....                                                                          | 87 |
| Figura 3.17. Lavador Venturi .....                                                                                               | 88 |
| Figura 3.18. Lavador Venturi Diseñado. ....                                                                                      | 91 |
| Figura 3.19. Cargas que Actúan sobre la Chimenea .....                                                                           | 94 |

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.1. Elementos de Inversión de Capital Total .....       | 102 |
| Figura 4.2. Elementos de Inversión de Capital Total Anual ..... | 103 |
| Figura 4.3. Parámetros para Costo de la Campana.....            | 104 |
| Figura 4.4. Parámetros para Costo de Conducto Recto .....       | 105 |
| Figura 4.5. Parámetros para Costo de Codos y Válvulas .....     | 106 |
| Figura 4.6. Parámetros para Costo de Chimeneas .....            | 106 |



## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

|          |                                                              |     |
|----------|--------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1  | Origen y Efectos Nocivos de los Humos Metálicos y Gases..... | 9   |
| Tabla 2  | TLVs de Agentes Químicos Nocivos.....                        | 11  |
| Tabla 3  | Factores a Considerar en el Diseño.....                      | 26  |
| Tabla 4  | Límites Permisibles de Humos y Gases de Soldadura .....      | 44  |
| Tabla 5  | Datos de Generación de Humos.....                            | 45  |
| Tabla 6  | Diámetros de Ductos.....                                     | 59  |
| Tabla 7  | Pérdidas en Tramos de Ductos .....                           | 61  |
| Tabla 8  | Pérdidas de Energía por Ramal .....                          | 62  |
| Tabla 9  | Resultados de Parámetros del Ciclón.....                     | 68  |
| Tabla 10 | Pérdida de Presión del Ciclón .....                          | 70  |
| Tabla 11 | Pérdida de Presión del Filtro de Mangas.....                 | 74  |
| Tabla 12 | Especificaciones Técnicas del Filtro de Mangas .....         | 76  |
| Tabla 13 | Parámetros de Funcionamiento Ventilador 1 .....              | 87  |
| Tabla 14 | Parámetros de Funcionamiento Ventilador 1.....               | 108 |
| Tabla 15 | Costos Totales Anuales de Equipos (A).....                   | 108 |
| Tabla 16 | Costos Total Filtro de Mangas.....                           | 109 |
| Tabla 17 | Costo del Precipitador Electrostático .....                  | 110 |
| Tabla 18 | Costo de Equipos Adicionales al Venturi.....                 | 111 |
| Tabla 19 | Inversión del Capital Total.....                             | 112 |
| TABLA 20 | Costo Total de Indemnizaciones .....                         | 114 |

## ÍNDICE DE PLANOS

|         |                                  |
|---------|----------------------------------|
| Plano 1 | Sistema de Extracción Localizada |
| Plano 2 | Campana Ramal 2                  |
| Plano 3 | Mesa de Corte                    |
| Plano 4 | Campana Ramal 1.                 |
| Plano 5 | Ductos y Accesorios.             |
| Plano 6 | Ciclón.                          |
| Plano 7 | Lavador Venturi.                 |

(Ver Planos en Apéndices)

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las empresas están obligadas a cumplir con las legislaciones y normativas vigentes con respecto a la seguridad, higiene, salud ocupacional y medio ambiente, en todo su proceso productivo. Según dichas reglas, y los entes controladores de normas a nivel industrial como la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) a nivel mundial y la Norma de Calidad del Aire Ambiente (Libro VI Anexo 4) a nivel nacional, se debe tener un límite máximo permisible (TLV) de contaminantes en el aire para su cumplimiento.

El diseño presentado en la tesis de un Sistema de Extracción Localizada de Humos Metálicos y Gases provenientes de los Procesos de Soldadura será capaz de extraer partículas de hasta  $3\mu\text{m}$  de tamaño que ocasionan enfermedades profesionales y contaminación ambiental. El Sistema será diseñado tratando de ajustarse a condiciones locales para solucionar una necesidad, actual y futura, de un Taller de Soldadura.

En el capítulo uno de la tesis se plantean los principales objetivos del Sistema, así como también se determinan los Problemas que se desean eliminar haciendo énfasis en los Límites Permisibles (TLV) de los agentes

químicos nocivos que puede soportar el ser humano para evitar las enfermedades profesionales.

En el capítulo dos se expresan extractos de la Norma Ambiental vigente en nuestro país para considerar el control de la contaminación atmosférica, a continuación se detalla los fundamentos técnicos para el control de partículas, así como también los Subsistemas y equipos necesarios para el Proceso.

En el capítulo tres se diseña y selecciona los componentes necesarios para el proceso (Campanas de Aspiración, Conductos, Ciclón, Filtro de Mangas, Precipitador electrostático, Ventiladores, Lavador Venturi y Chimenea) verificando técnicamente su eficiencia y aceptabilidad en el Sistema.

En la cuarta parte se hace un estudio económico para constatar la rentabilidad del diseño, especificando de una manera detallada los costos involucrados, siguiendo los lineamientos del Manual de la EPA.

Finalmente se proporciona las conclusiones y recomendaciones necesarias, dejando la apertura para su mejora continua.

# CAPÍTULO 1

## 1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.

### 1.1 Objetivos del Sistema.

Dentro de los riesgos que pueden producir accidentes y a los que están expuestas las personas que trabajan en ambientes en donde se involucra trabajos de Soldadura existen: físicos mecánicos (cortes, caídas, quemaduras, proyecciones), físicos no mecánicos (radiación no ionizante), *químicos (humos metálicos y gases)*. El presente trabajo sólo se limita al control de éstos últimos de acuerdo a las normativas nacionales, internacionales y mediante la aplicación de soluciones ingenieriles técnicamente adecuadas.

Si bien es cierto que la seguridad tiene importancia relevante, el cuidado al medio ambiente también lo es, debido a que es

necesario para la normal interacción con todos los seres vivos en un hábitad determinado.

Por lo tanto, los principales Objetivos que abarca el presente trabajo para beneficio del Sistema, promulgando la acción preventiva son:

- ✓ Combatir los riesgos y control de la contaminación en su origen, mediante la Extracción Localizada e Ingeniería.
- ✓ Adaptar y mejorar los puestos de trabajo de las personas.
- ✓ Desarrollo de la Protección Colectiva.
- ✓ Cumplir con la Normativa y Legislación vigente.

## **1.2 Determinación de los Problemas que se Desean Eliminar.**

Cada año se producen muertes por accidentes y enfermedades laborales alrededor de 2.2 millones de personas, de las cuales las sustancias peligrosas matan a 340.000 trabajadores, se producen también 70 millones de accidentes del trabajo y 160 millones de casos de enfermedades profesionales ocasionada por riesgos de higiene laboral. [1]

Actualmente en los países considerados como desarrollados (por su gran Potencial), la seguridad, higiene y salud ocupacional han

evolucionado notablemente y juegan un papel muy importante en sus procesos productivos. Estos tres conceptos hoy en día forman parte esencial de su legislación vigente, lo que implica que poseen una gran cultura en materia de prevención de riesgos laborales, clave principal para su progreso y mejora continua.

En la Industria mundial existen multitud de procesos laborales que causan contaminación, en los que se involucra como principales agentes a:

- ✓ Polvos
- ✓ Humos
- ✓ Gases
- ✓ Vapores

Los humos y gases provenientes de los procesos de soldadura son químicamente muy complejos, su composición y cantidad dependen del material de aporte, del metal base, proceso de soldadura, nivel de corriente y otros factores del proceso. Estos constituyen una amenaza para la seguridad y salud de los trabajadores, sino se cuenta con la adecuada protección.

Los Humos son partículas sólidas originadas por los materiales consumibles de soldadura, por el metal base, y los recubrimientos presentes. Los Gases son producidos durante el proceso de soldadura o por el proceso de radiación que se crea a los alrededores. Los gases pueden crearse en grandes cantidades cuando se aplica el corte por plasma o altos amperajes de metales muy reflectivos como el aluminio y el acero inoxidable.

Un solo soldador produce entre 20 g. y 40 g. de polvo metálico por hora, (proveniente de los humos metálicos y gases de soldadura), es decir que por año produciría aproximadamente entre:

$$20 \frac{g}{h} \times \frac{8h}{1 \text{ dia}} \times \frac{20 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ mes}}{1 \text{ año}} = 38.4 \text{ Kg/año ; y}$$

$$40 \frac{g}{h} \times \frac{8h}{1 \text{ dia}} \times \frac{20 \text{ dias}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ mes}}{1 \text{ ano}} = 76.8 \text{ Kg/año}$$

La *Figura 1.1* muestra el resultado de polvos metálicos obtenidos después de dos semanas de soldar. [2]





**FIGURA 1.1. POLVO METÁLICO DE SOLDADURA**

En el sector industrial de la metalmecánica, es alta la exposición de soldadores y operadores a los humos y gases de soldadura, como lo muestra la *Figura 1.2*, en consecuencia es necesario reducirla, porque los están expuestos a partículas nocivas como: Cromo, Manganeso, Níquel, Óxidos de Hierro, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrógeno, Ozono, Fluoruros, entre otros; cuyos efectos nocivos van desde irritaciones tracto respiratorias y de ojos, reacciones alérgicas, fiebre de los humos metálicos, dolores de cabeza, mareos y otras complicaciones que pueden ocurrir inmediatamente hasta enfermedades crónicas a lo largo del tiempo como: bronquitis, asma, siderosis y algún tipo de cáncer. [3] El origen de los principales componentes y sus potenciales efectos sobre la Salud, se muestran en la *Tabla 1*.



**FIGURA 1.2. FORMACIÓN DE HUMOS METÁLICOS Y GASES POR PROCESOS DE SOLDADURA AL ARCO.**

El tamaño de la partícula del humo de soldadura es una variable importante a considerar, porque éste determina el grado de penetración o retención en el sistema respiratorio humano. Si bien es cierto que el tamaño varía según el proceso, estudios han determinado que en promedio una partícula de  $0.3 \mu\text{m}$  es suficiente para penetrar en el Sistema Respiratorio. [3]

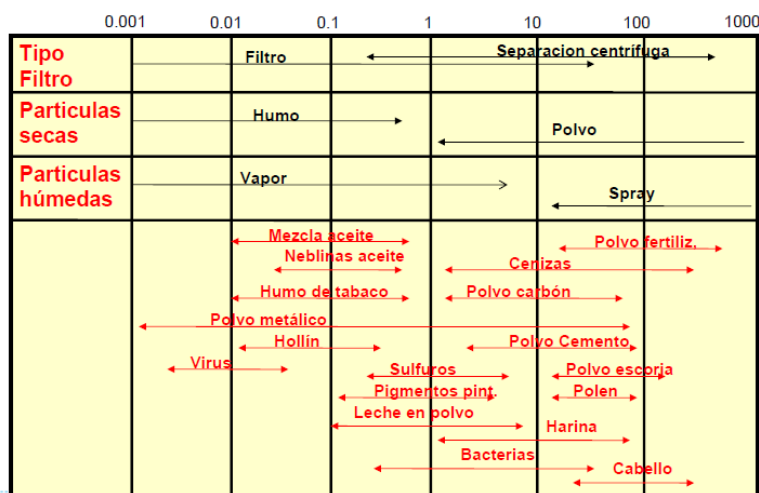
**TABLA 1**  
**ORIGEN Y EFECTOS NOCIVOS DE LOS HUMOS METÁLICOS Y GASES [2]**

| HUMOS METÁLICOS Y GASES    | ORIGEN                                                                                                                      | EFECTOS SOBRE LA SALUD Y SÍNTOMAS                                                                                                                                           |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cromo (Cr)</b>          | Procesos de soldadura. Acero inoxidable. Galvanizados. Fabricación pigmento de Galvanizados. Fabricación pigmento de cromo, | Irritación de la piel. Irritación del tracto respiratorio, efectos sobre la nariz, ojos y oídos. Efectos crónicos, incluido cáncer de pulmón, de riñón o daños en el hígado |
| <b>Manganeso (Mn)</b>      | Procesos de soldadura, acero alta resistencia                                                                               | Pneumonitis química; efectos crónicos incluidos trastornos del sistema nervioso.                                                                                            |
| <b>Níquel (Ni)</b>         | Proceso de soldadura: Acero inoxidable, cromados, galvanizados                                                              | Dermatitis, asma, trastornos respiratorios, efectos crónicos incluyendo cáncer(nariz, laringe, pulmón), irritación del tracto respiratorio, disfunción renal.               |
| <b>Oxido de hierro</b>     | Procesos de soldadura, tanto en hierro como acero                                                                           | Efectos sobre la nariz e irritación pulmonar, siderosis (acumulación pulmonar de óxido de hierro)                                                                           |
| <b>Fluoruros</b>           | Protección para electrodos, material flux (arco sumergido)                                                                  | Irritación de ojos, nariz y garganta, problemas gastrointestinales, efectos crónicos, incluyendo problemas de huesos y articulaciones.                                      |
| <b>Ozono</b>               | Formado en el arco de soldadura                                                                                             | Efectos agudos, incluyendo hemorragias y derrames en pulmón.                                                                                                                |
| <b>Oxido de nitrógeno</b>  | Formado en el arco de soldadura                                                                                             | Pneumonitis, edema pulmonar, bronquitis crónica, enfisema y fibrosis pulmonar                                                                                               |
| <b>Monóxido de Carbono</b> | Dióxido de carbono generado durante la soldadura al arco., Protección de electrodos                                         | Dolor de cabeza, náuseas, efecto Dióxido de carbono generado durante la crónicos cardiovasculares e incluso muerte                                                          |

El polvo metálico inhalado visible de tamaño mayor a 10  $\mu\text{m}$ . es retenido en la nariz y la garganta, el de tamaño entre 1 y 10 alcanza los bronquios y las partículas menores a 1  $\mu\text{m}$ . (Cromo, Manganeso y Níquel) alcanzan los pulmones, esto significa que el 99% de partículas finas llegan al pulmón. La *Figura 1.3*, indica una escala comparativa del tamaño de partícula en el aire.

El Manganeso provoca daños en el sistema Nervioso Central y enfermedades Neuropsiquiátricas, así mismo el cromo Hexavalente (Cr VI), es un reconocido agente peligroso y causa cáncer, úlceras

en el tabique nasal, dermatitis y problemas de Fertilidad. Cabe indicar que estos son los contaminantes que la ventilación general no consigue captar. [2]



**FIGURA 1.3. TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN EL AIRE EN MICRAS. [2]**

Los datos específicos de las emisiones de los contaminantes, producidos por varios procesos de soldadura son provistos por los Fabricantes en las MSDS (Material Safety Data Sheets) en la **Figura B-1** del **APÉNDICE B-2** se muestra un ejemplo con el Electrodo de Aluminio 5356. La *Tabla 2*, muestra un extracto de los TLVs (Límites máximos permisibles de exposición promedio para una persona que trabaja 8 horas diarias) de los principales agentes contaminantes (Cromo, Manganeseo y Níquel), proveniente de la ACGIH (Ver **Tabla B-2** del **APÉNDICE B-2**).

**TABLA 2**  
**TLVs DE AGENTES QUÍMICOS NOCIVOS [4]**

| LÍMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL<br>PARA AGENTES QUÍMICOS EN ESPAÑA 2007 |           |                                                                                                         |                   |                   |        |                   |                                  |                   |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------|-------------------|----------------------------------|-------------------|
| BNECS                                                                     | CAS       | AGENTE QUÍMICO                                                                                          | LÍMITES ADOPTADOS |                   |        |                   | NOTAS                            | FRASES P          |
|                                                                           |           |                                                                                                         | VLA-ED            |                   | VLA-EC |                   |                                  |                   |
|                                                                           |           |                                                                                                         | ppm               | mg/m <sup>3</sup> | ppm    | mg/m <sup>3</sup> |                                  |                   |
| 231-846-0                                                                 | 7758-97-6 | Cromato de plomo,                                                                                       |                   |                   |        |                   | <a href="#">TR1</a>              | 61-33-40-50/53-62 |
|                                                                           |           | como Cr                                                                                                 |                   | 0.012             |        |                   |                                  |                   |
|                                                                           |           | como Pb                                                                                                 |                   | 0.05              |        |                   | <a href="#">VLB</a>              |                   |
|                                                                           |           | Cromo metal, compuestos inorgánicos Cr (II) y Cr III), como Cr                                          |                   | 0.5               |        |                   | <a href="#">véase Apartado 8</a> |                   |
| 231-105-1                                                                 | 7439-96-5 | Manganeso Elemental y compuestos inorgánicos como Mn                                                    |                   | 0.2               |        |                   |                                  |                   |
|                                                                           |           | Níquel, compuestos inorgánicos excepto aquellos que están expresamente indicados en esta tabla, como Ni |                   |                   |        |                   |                                  |                   |
|                                                                           |           | Compuestos insolubles, como Ni                                                                          |                   | 0.2               |        |                   | c, Sen, r                        |                   |
|                                                                           |           | Compuestos solubles, como Ni                                                                            |                   | 0.1               |        |                   | c, Sen, r                        |                   |

Por todo lo expuesto anteriormente, es necesario que el Sistema a diseñarse sea capaz de captar los componentes de los humos metálicos y gases nocivos para la salud.

Siguiendo las recomendaciones de la Norma AWS F1.3:2006 A *Sampling Guide for Evaluating Contaminants in the Welding Environment* en su Anexo B, se realizó un checklist de las áreas en donde se requiere el Sistema de Extracción Localizada y cuyos resultados se muestran en el **APÉNDICE C**.

# CAPÍTULO 2

## 2. DISEÑO Y CÁLCULOS PRELIMINARES DE LOS SISTEMAS.

### 2.1 Consideraciones Básicas para el Control de la Contaminación Atmosférica.

A continuación se refiere al extracto de la **Norma de Calidad de Aire Ambiente – Libro VI Anexo 4**, vigente en el país (Ver **APÉNDICE D**), al capítulo 4.1, del cual se extrae lo referente a los contaminantes: Material Particulado menor a 10 y 2.5  $\mu\text{m}$ . ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ) de los elementos listados en el *inciso 1.2*, Óxidos de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Ozono, que son elementos constitutivos de los humos y gases de los procesos de soldadura.

#### ***Norma de calidad de aire ambiente***

#### ***De los contaminantes del aire ambiente***

*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.*

**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 ( $PM_{10}$ ).**- El promedio aritmético de la concentración de  $PM_{10}$  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 ( $PM_{2.5}$ ).**- Se ha establecido que el promedio aritmético de la concentración de  $PM_{2.5}$  de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico ( $15 \mu g/m^3$ ). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder sesenta y cinco microgramos por metro cúbico ( $65 \mu g/m^3$ ), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.

**Dióxido de azufre ( $SO_2$ ).**- El promedio aritmético de la concentración de  $SO_2$  determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de ochenta microgramos por metro cúbico ( $80 \mu g/m^3$ ). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos por metro cúbico ( $350 \mu g/m^3$ ), 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 ( $10.000 \mu g/m^3$ ) 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 ( $40.000 \mu g/m^3$ ) 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 ( $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 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 ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), más de una vez en un año.

**Óxidos de nitrógeno, expresados como  $\text{NO}_2$ .** El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como  $\text{NO}_2$ , y determinada en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) más de dos (2) veces en un año.

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  $25^\circ\text{C}$  y 760 mm Hg.

*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:*

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

*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.*

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

*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.*

*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 excedan 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 [A]**

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

*Nota:*

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

*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.*

De igual manera se refiere también al extracto de la **Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes fijas de Combustión – Libro VI Anexo 3**, vigente en el país (Ver **APÉNDICE E**), sección 4.1.2, del cual se extrae lo referente a los Valores Máximos Permisibles de emisión los contaminantes.

### **Valores máximos permisibles de emisión**

*Los valores de emisión máxima permitida, para fuentes fijas de combustión existentes, son los establecidos en la Tabla 1 de esta norma.*

**TABLA 1**

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE PARA FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN. NORMA PARA FUENTES EN OPERACIÓN ANTES DE ENERO DE 2003**

| CONTAMINANTE EMITIDO | COMBUSTIBLE UTILIZADO  | VALOR        | UNIDADES <sup>[1]</sup> |
|----------------------|------------------------|--------------|-------------------------|
| Partículas Totales   | Sólido                 | 355          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 355          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | No Aplicable | No Aplicable            |
| Óxidos de Nitrógeno  | Sólido                 | 1 100        | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 700          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | 500          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
| Dióxido de Azufre    | Sólido                 | 1 650        | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 1 650        | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | No Aplicable | No Aplicable            |

**Notas:**

[1] mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

[2] combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosene, búnker C, petróleo crudo, naftas.

Los valores de emisión máxima permitida, para fuentes fijas de combustión nuevas, son los establecidos en la Tabla 2 de esta norma.

**TABLA 2.**

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE PARA FUENTES FIJAS DE COMBUSTIÓN. NORMA PARA FUENTES EN OPERACIÓN A PARTIR DE ENERO DE 2003**

| CONTAMINANTE EMITIDO | COMBUSTIBLE UTILIZADO  | VALOR        | UNIDADES <sup>[1]</sup> |
|----------------------|------------------------|--------------|-------------------------|
| Partículas Totales   | Sólido                 | 150          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 150          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | No Aplicable | No Aplicable            |
| Óxidos de Nitrógeno  | Sólido                 | 850          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 550          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | 400          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
| Dióxido de Azufre    | Sólido                 | 1 650        | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 1 650        | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | No Aplicable | No Aplicable            |

[1] mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, de mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

[2] combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosene, búnker C, petróleo crudo, naftas.

La Entidad Ambiental de Control utilizará los límites máximos permisibles de emisiones indicados en las Tablas 2 y 3 para fines de elaborar su respectiva norma (ver Reglamento a la Ley de Prevención y Control de Contaminación). La Entidad Ambiental de Control podrá establecer normas de emisión de mayor exigencia, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe indicaren dicha necesidad.

*El Ministerio del Ambiente definirá la frecuencia de revisión de los valores establecidos como límite máximo permitido de emisiones al aire. De acuerdo a lo establecido en el reglamento para la prevención y control de la contaminación, se analizará la conveniencia de unificar los valores de emisión para fuentes en operación antes de Enero de 2003 y posteriores a esta fecha. La revisión deberá considerar, además, las bases de datos de emisiones, así como de los datos de concentraciones de contaminantes en el aire ambiente, efectúe la Entidad Ambiental de Control.*

***De los límites máximos permisibles de emisiones al aire para procesos específicos***

***Fundición de metales***

TABLA 3.

***LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE PARA FUNDICIÓN DE METALES***

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES                               | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES <sup>[1]</sup> |
|----------------------|---------------------------------------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| Partículas Totales   | Cubilotes:<br>de 1 a 5 t/h<br>mayor a 5 t/h | 600                | 250            | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      |                                             | 300                | 150            | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Arco eléctrico:<br>menor 5 t<br>mayor 5 t   | 350                | 250            | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      |                                             | 150                | 120            | mg/Nm <sup>3</sup>      |

Notas:

[1] mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

El control de la emisión de contaminantes a la atmósfera es uno de los objetivos principales para cumplir con la legislación vigente, teniendo en cuenta siempre a considerar las presencias nuevas contaminantes.

El control de las Fuentes de emisión requiere de un conocimiento exhaustivo de la naturaleza del contaminante, de las características de la fuente y de la normativa. Para realizar un correcto diseño será necesario conocer las propiedades termodinámicas y las posibles reacciones químicas implicadas. A medida que los gases pasan a través de los conductos, chimeneas, ventiladores, sistemas de depuración, etc., se producen cambios en la temperatura y la presión que ocasionan cambios en la densidad y en la velocidad del gas. [5]

Siguiendo los principios de la gestión medioambiental se toman las siguientes medidas:

1. Efectuar cambios en el proceso con el fin de prevenir la contaminación o de minimizar su impacto.
2. Depurar los efluentes gaseosos. Los factores a tener en cuenta en el diseño y operación de sistemas de depuración son múltiples.
3. Dispersar las emisiones.

## 2.2 Fundamentos del Control de Partículas.

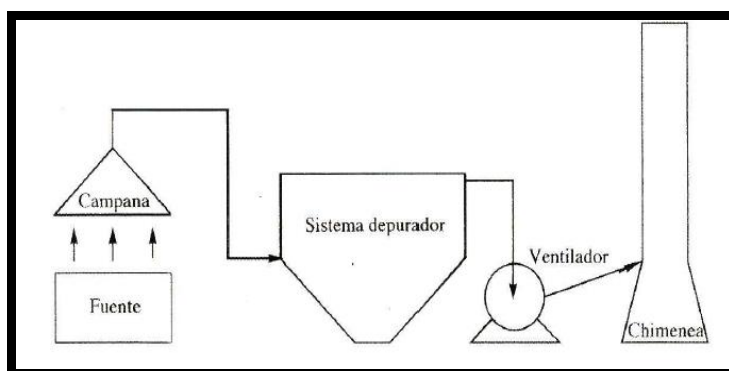
El método de extracción del aire con los humos y gases de soldadura, generalmente atraviesan un colector de polvos metálicos provenientes de los humos. Los productos gaseosos son habitualmente diluidos en el proceso, resultando en bajas concentraciones.

En casos como el del presente proyecto los colectores forman parte secuencial del Sistema de Extracción y son seleccionados en base a los siguientes factores:

1. **Concentración del Contaminante.** La cantidad de humo y polvo generado por el proceso.
2. **Requerimientos de Eficiencia.** Generalmente la eficiencia de captura tiene gran influencia en la calidad del aire que se filtra.
3. **Características del Contaminante.** Esto incluye tamaño de la partícula y su condición seca, húmeda o adherente.
4. **Consumo de energía.** Todos los colectores consumen energía a fin de superar la caída de presión a través del colector, así mismo se utiliza energía para la limpieza de los contaminantes recolectados. [3]



Los sistemas de depuración constan de un sistema de captación de gases (*campana de extracción*) y de los sistemas de separación que pueden ser por vía seca (*ciclones, filtros de mangas y precipitadores electrostáticos*) o por vía húmeda (*lavadores tipo columna, tipo ciclón y tipo venturi*), en los que se produce la separación de las partículas de la corriente gaseosa para luego ser evacuados al ambiente (*por chimenea*). Ver Figura 2.1.



**FIGURA 2.1. DISPOSICIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN, DEPURACIÓN Y EVACUACIÓN [5]**

Para una adecuada selección el factor más importante a considerar es el tamaño de las partículas a depurar, que pueden tener cualquier forma, pero se la considera como el diámetro de la esfera que ocuparía el mismo volumen, y se representa por  $d_p$ . También se utiliza para representar el tamaño de la partícula el diámetro aerodinámico, que es el diámetro de una partícula esférica de

densidad arbitraria de  $1 \text{ g/cm}^3$  que se comporta en una corriente de aire de la misma forma que la partícula real. [5]

En el **APÉNDICE F** se presentan los tamaños y características de las partículas presentes en el aire, junto con sus orígenes y los posibles sistemas de depuración. [10] [11]

En general, las partículas en el aire presentan tamaños en el intervalo de  $0.001$  a  $500 \text{ }\mu\text{m}$ , con la mayor parte de ellas, aproximadamente el 75% en masa, comprendidas en el intervalo de  $0.1$  a  $10 \text{ }\mu\text{m}$ . Las partículas de tamaño inferior a  $0.1 \text{ }\mu\text{m}$  condensan debido a colisiones ya que tienen un comportamiento similar a las moléculas gaseosas. Las partículas entre  $1$  y  $20 \text{ }\mu\text{m}$  tienden a ser arrastradas por el aire, mientras que las de tamaño superior a  $20 \text{ }\mu\text{m}$  sedimentan rápidamente. En cuanto al origen de las partículas, éstas con un tamaño inferior a  $1 \text{ }\mu\text{m}$  se producen por condensación, nucleación y evaporación (partículas secundarias), mientras que las de tamaño superior proceden de procesos de trituración.

Según lo expuesto en el *inciso 1.2*, para los procesos de soldadura se considerará el tamaño mínimo de partícula de  $0.3 \text{ }\mu\text{m}$ , que es suficiente para penetrar en el Sistema Respiratorio. [3]. Por lo tanto

los equipos a diseñar y seleccionar en ésta tesis serán capaces de eliminar estas partículas.

### **2.3 Determinación de los equipos necesarios para el proceso.**

Para determinar correctamente los componentes necesarios para el Sistema de depuración es necesario considerar los Factores que se exponen en la *Tabla 3*.

Los dispositivos de control más usados para controlar la emisión de partículas son los siguientes:

#### **Separador de inercia: Ciclón**

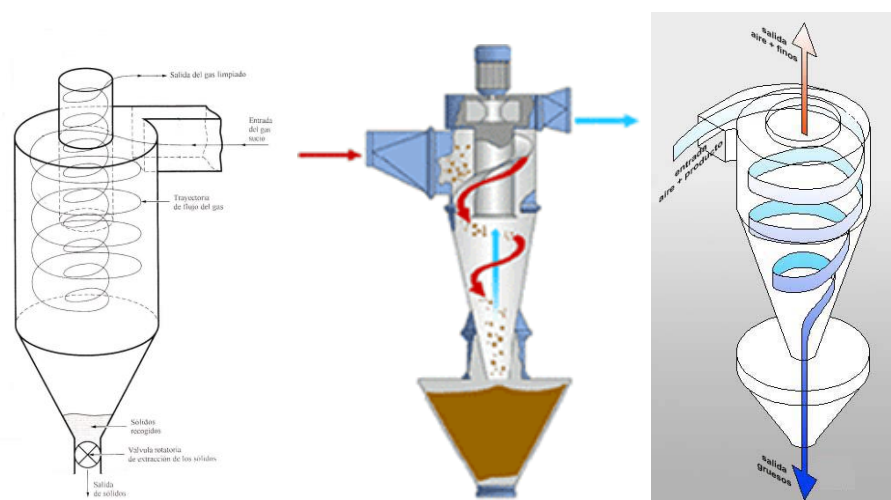
Los ciclones se utilizan como pretratamiento en la depuración de gases para reducir la cantidad de polvo que entra al sistema. Desde el punto de vista de la depuración, los ciclones por si mismos no suelen ser adecuados para cumplir la normativa de emisiones, pero pueden ser indispensables para adecuar la corriente a tratar (eliminación de abrasivos y disminución de carga) para el buen funcionamiento de otros equipos como los filtros de mangas o los precipitadores electrostáticos. [5]

**TABLA 3**  
**FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO [4]**

| FACTOR                     | CONSIDERACIONES                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| GENERAL                    | Eficacia de captura<br>Limitaciones legales<br>Costo inicial<br>Tiempo de vida y valor residual<br>Costos de operación y mantenimiento<br>Requisitos de potencia<br>Peso y requisitos de espacio<br>Material de construcción<br>Fiabilidad<br>Garantías del equipo y del fabricante |
| GAS PORTADOR               | Temperatura<br>Presión<br>Humedad<br>Densidad<br>Viscosidad<br>Punto de rocío de materias condensables<br>Corrosividad<br>Inflamabilidad<br>Toxicidad                                                                                                                               |
| PROCESO                    | Caudal y velocidad del gas<br>Concentración de contaminantes<br>Variabilidad de caudales, temperatura, etc.                                                                                                                                                                         |
| CONTAMINANTE (GASEOSO)     | Corrosividad<br>Inflamabilidad<br>Toxicidad<br>Reactividad                                                                                                                                                                                                                          |
| CONTAMINANTE (PARTICULADO) | Distribución de tamaños de partícula<br>Forma de las partículas<br>Tendencia a la aglomeración<br>Corrosividad<br>Abrasividad<br>Pegajosidad<br>Inflamabilidad<br>Toxicidad<br>Resistividad eléctrica<br>Reactividad                                                                |

A través de la rápida rotación del flujo de aire, las partículas son desplazadas por acción de la fuerza centrífuga hacia las paredes del ciclón, lo que permite que las partículas más pesadas se desprendan del flujo de aire siendo impulsadas hacia la pared donde se juntan entre sí y forman aglomerados que sedimentan y

son eliminados por el punto de salida inferior del ciclón (Ver *Figura 2.2*). [5]



**FIGURA 2.2. RECOLECCIÓN DE PARTÍCULAS DEL CICLÓN [5]**

En la base del ciclón, el gas se vuelve moviéndose en espiral hacia arriba y saliendo por la parte superior del equipo. En ocasiones se utiliza una configuración de multiciclón, que consiste en un conjunto de ciclones de pequeño diámetro y elevada altura funcionando en paralelo.

Los ciclones se utilizan para la eliminación de partículas, fundamentalmente las primarias de tamaño superior a  $10\text{ }\mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico. No obstante, se diseñan cyclones de alta eficacia con aplicaciones para la eliminación de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ . Con el sistema de multiciclón se pueden separar partículas entre 2 y 5

$\mu\text{m}$ . Si la corriente a tratar contiene partículas de tamaño superior a 200  $\mu\text{m}$ , otros dispositivos como los inerciales (cámaras de sedimentación) podrían resultar eficaces y presentan menos problemas de abrasión.

Los ciclones se clasifican según su eficacia en convencionales, de alta eficacia y de alto rendimiento. En la *Figura 2.3* se muestran los valores típicos de eficacia en función del tamaño de partícula.

|                   | Eficacia (%) |               |                  |
|-------------------|--------------|---------------|------------------|
|                   | Convencional | Alta eficacia | Alto rendimiento |
| PM                | 70-90        | 80-99         | 80-99            |
| PM <sub>10</sub>  | 30-90        | 60-95         | 10-40            |
| PM <sub>2.5</sub> | 0-40         | 20-70         | 0-10             |

De EPA Hoja de datos.

**FIGURA 2.3. EFICACIA DE LOS CICLONES [5]**

La eficacia global del ciclón depende de las características de las partículas (distribución de tamaño y densidad) y del diseño del equipo.

**Ciclones de alta eficiencia:** Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales, pueden remover partículas de 5 $\mu\text{m}$ , con eficiencias hasta del 90%, pudiendo

alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía para mover el gas sucio a través del ciclón. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada.

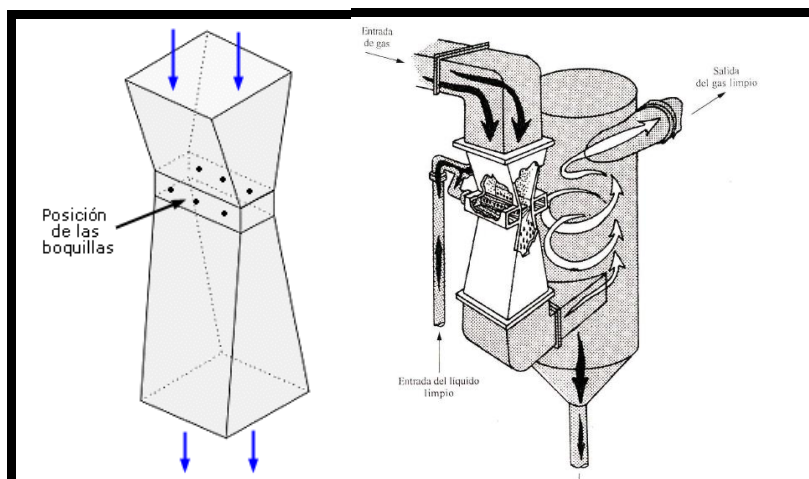
**Ciclones de alta capacidad:** Los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de  $20\mu\text{m}$ ., aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas.

**Separador por vía húmeda: Lavador Venturi**

Los lavadores Venturi utilizan el conocido efecto del mismo nombre para conseguir una buena dispersión del agua en la corriente de gas y de esta manera aumentar las posibilidades de impacto de las partículas en suspensión con las gotas de agua. Se los usa en la de depuración de contaminantes gaseosos y con partículas de diámetro menor de  $2.5\ \mu\text{m}$ . cuando se requiere una eficacia de depuración elevada, pudiendo alcanzar eficacias del 99.5%.

El sistema está formado por dos partes bien diferenciadas: el venturi y el separador de gotas. El venturi es un canal rectangular

que converge en un estrechamiento y diverge después al diámetro original. (Ver *Figura 2.4*).



**FIGURA 2.4. LAVADOR VENTURI [5]**

En la zona de convergencia el gas es acelerado de forma que en la garganta alcanza grandes velocidades (50 - 180 m/s). En la garganta el gas se pone en contacto con el agua, que se introduce por pequeños orificios distribuidos en la pared, a una presión de 2-3 bar. El gas a elevada velocidad atomiza el líquido inyectado y acelera las gotas produciéndose el impacto de las gotas con las partículas finas. A medida que la velocidad de las gotas se aproxima a la del gas, la probabilidad de impacto disminuye. Para conseguir elevadas eficacias es necesaria una velocidad relativa elevada entre el gas y las gotas atomizadas, por lo que la mayor parte de la eliminación por impacto se produce en los primeros



centímetros de la sección divergente. El resto de longitud de la zona divergente es necesario para la recuperación de la presión pero no influye sobre la eficacia de captación.

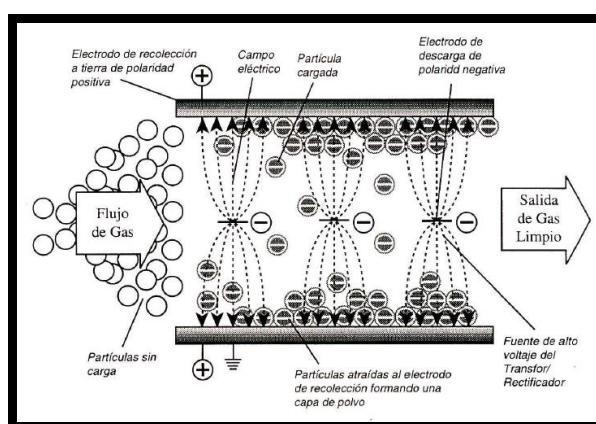
### **Separador Eléctrico: Precipitador Electrostático**

Los precipitadores electrostáticos son equipos de recolección de partículas de polvo y gotas mediante la acción de un campo eléctrico intenso sobre las partículas previamente cargadas. El proceso de precipitación consta de tres etapas fundamentales:

1. Carga electrostática de las partículas
2. Recolección de partículas sobre las placas del precipitador
3. Evacuación del material recolectado.

Los precipitadores electrostáticos están especialmente indicados en los casos que requieran una elevada eficacia de tratamiento de grandes caudales de gases con partículas pequeñas en su seno y con temperaturas elevadas (hasta 700 °C). La pérdida de carga de la corriente gaseosa es muy pequeña en comparación con la de otros equipos, situándose en torno a 2-12 mm. de columna de agua. Por el contrario, los costes de inversión son elevados y la operación es compleja. Estos son los equipos que se utilizan, hoy en día, en centrales térmicas de carbón y en cementeras. También tiene una

aplicación extendida en la industria química en general. Los equipos actuales presentan eficacias de captación del 99 al 99.9 %. La eficacia de captación depende, fundamentalmente, del tamaño del equipo, aunque otros factores como la resistividad del polvo, la temperatura y composición química del gas y la distribución de tamaños de partículas también influyen sobre la eficacia.

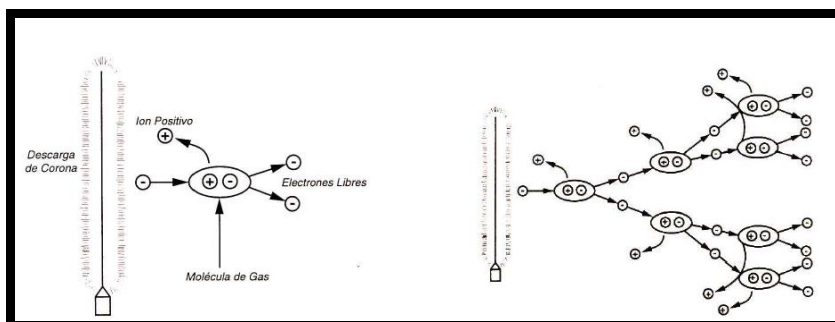


**FIGURA 2.5. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO [5]**

La *Figura 2.5* ilustra el principio básico de la operación. Los gases sucios pasan a través de un campo eléctrico de polaridades opuestas. El precipitador consta de dos sistemas de electrodos: el electrodo de emisión (o de descarga) y el de precipitación. El electrodo de emisión está unido al polo negativo de un rectificador de alto voltaje (20 – 100 kV.), mientras que el electrodo de

precipitación está conectado eléctricamente a tierra, cerrando el circuito.

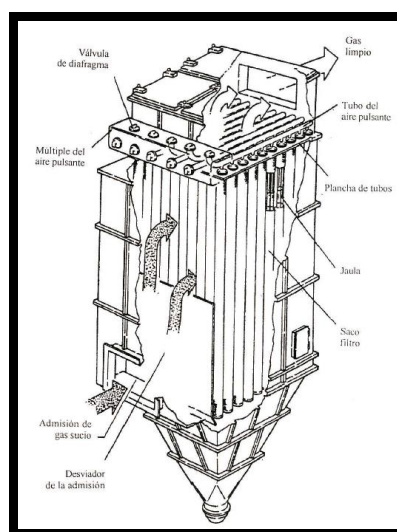
El electrodo de emisión puede ser un fino hilo metálico (0.13 – 0.38 cm.) o un cable enrollado o tubo con púas. Estos electrodos se sitúan en el interior de un tubo cilíndrico o entre placas que constituyen el electrodo de precipitación. Al aplicar una corriente continua de alto voltaje sobre el fino alambre se producen descargas eléctricas locales. Los electrones libres dotados de una gran energía eléctrica chocan con las moléculas de gas, produciendo numerosos iones positivos y negativos en esta zona, que se manifiesta por una zona visible muy activa en las proximidades del electrodo emisor, efecto corona, donde el gradiente de campo eléctrico es mayor (*Figura 2.6 (a)*). En estos choques se originan nuevos electrones libres, lo que ocasiona que el proceso de ionización se multiplique (*Figura 2.6 (b)*). Con el electrodo emisor sometido a un potencial negativo, los iones positivos son rápidamente captados por el alambre, y los iones negativos se desplazan hacia el electrodo de precipitación (tubos o placas).



**FIGURA 2.6. (a) GENERACIÓN DE CORONA (b) MULTIPLICACIÓN DE AVALANCHA [5]**

### **Separador Filtrante: Filtro de Mangas**

Los filtros de mangas son estructuras metálicas cerradas en cuyo interior se disponen elementos filtrantes textiles en posición vertical (Figura 2.7).



**FIGURA 2.7. FILTRO DE MANGAS [5]**

Según el diseño pueden adoptar formas tubulares, y se denominan mangas, o formas rectangulares, y se denominan bolsas. Se

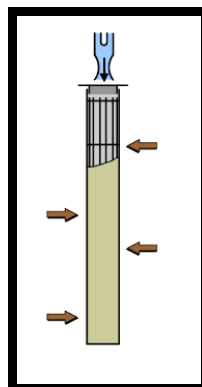
montan sobre una cámara que termina en su parte inferior en una tolva de recogida de partículas.

El aire cargado de sólidos es forzado a pasar a través del textil, sobre el que se forma una capa de polvo. La filtración se produce como resultado de la formación de una capa de polvo primaria en la superficie de las mangas y una acumulación de partículas de polvo en el interior del material filtrante. Una vez formada la capa primaria, la penetración se hace muy baja y la filtración se produce por tamizado (filtración superficial). El proceso de filtración continúa hasta que la caída de presión se hace tan importante que requiere la limpieza del sistema.

Los filtros de mangas son instalaciones de depuración de partículas altamente eficaces, lo que permite cumplir con las más estrictas normativas de calidad de aire. Se obtienen eficacias por encima del 99% para partículas mayores de 10  $\mu\text{m}$ ., pudiendo superar el 99.99%. Para partículas de 0.5  $\mu\text{m}$ . alcanzan eficacias del 99% y se obtienen eficacias aceptables para partículas de hasta 0.01  $\mu\text{m}$ .

Existen los siguientes tipos de filtros de mangas:

- **Filtros de limpieza por sacudida manual:** Es un filtro constituido de una bolsa filtrante suspendida en un cuadro metálico provisto de un dispositivo de sacudida manual, accionándolo de abajo arriba para obtener la limpieza del tejido filtrante. [12]
- **Filtro de limpieza mecánica por vibración:** Es un filtro constituido de saco filtrante o mangas cilíndricas, con un sistema de limpieza por vibrador, que al final de cada período de trabajo, el medio filtrante es descolgado por sacudidas que realiza una excéntrica accionada por un motor eléctrico. Esta sacudida desprende la torta de polvo que cae en un depósito.
- **Filtro de impulsos de aire comprimido:** Es un filtro constituido por mangas filtrantes cilíndricas, con un sistema de limpieza de estas mangas por una breve inyección de aire comprimido a través de un venturi, el cual induce un gran volumen de aire que infla la manga desprendiendo la torta de polvo del exterior de la misma. El funcionamiento de este filtro puede ser continuo durante 24 horas al día, siendo ésta su principal ventaja de implantación. Admite concentraciones de polvo y velocidades de filtración, más importantes que un captador de polvo automático (*Ver Figura 2.8*). Permite la recuperación o la recirculación de productos tratados.



**FIGURA 2.8. FILTRO DE IMPULSO DE AIRE COMPRIMIDO [12]**

La *Figura 2.9* muestra el rango de partículas que son atrapadas en cada uno de los equipos de control.

| Equipo                         | Rango de partículas que atrapa en micras |
|--------------------------------|------------------------------------------|
| Precipitadores electrostáticos | 0.01 a 90                                |
| Filtros de tela                | 0.05 a 90                                |
| Lavadores de gases             | 0.05 a 100                               |
| Separadores centrífugos        | 5 a 1000                                 |
| Cámaras de sedimentación       | 10 a 10000                               |

**FIGURA 2.9. RANGO DE CAPTURA DE EQUIPOS DE CONTROL**

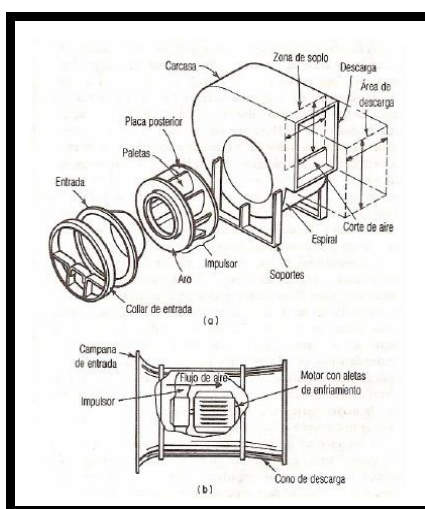
### Ventiladores

Los ventiladores son considerados como máquinas hidráulicas. La máxima presión que los ventiladores pueden generar está en el orden de los 1500 mm. c.d.H<sub>2</sub>O (2.1 psi), es decir, menos de la

sexta parte de la presión atmosférica. De acuerdo a la presión que generan los ventiladores pueden ser:

- Ventiladores de baja presión ( $0 - 300 \text{ mm c.d.H}_2\text{O}$ )
- Ventiladores de mediana presión ( $300 - 900 \text{ mm c.d.H}_2\text{O}$ )
- Ventiladores de alta presión ( $900 - 1500 \text{ mm c.d.H}_2\text{O}$ )

Otras de las características para clasificar un ventilador es la naturaleza del flujo por los conductos en las paletas del impulsor. Puede haber impulsores de flujo axial, de flujo radial, de flujo mixto y de flujo transversal. Los nombres de algunos ventiladores se derivan de esa clasificación y otros nombres se toman de otras características (Ver *Figura 2.10*).



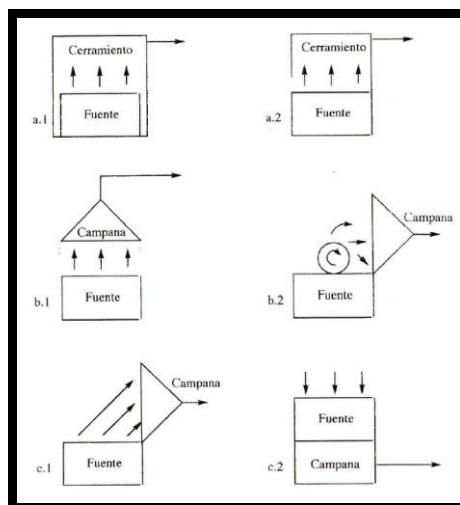
**FIGURA 2.10. (a) VENTILADOR CENTRÍFUGO (b) VENTILADOR AXIAL**



Los ventiladores axiales se caracterizan por generar grandes cantidades de flujo a baja presión. Estos ventiladores trabajan con requerimientos de carga de hasta  $300 \text{ mm. c.d.H}_2\text{O}$ . Los ventiladores centrífugos se caracterizan por generar grandes presiones, con flujos relativamente bajos.

### **Sistemas de Captación**

Los sistemas de captación tienen por objetivo conducir las emisiones, y por tanto controlarlas, desde el punto de emisión hasta los sistemas de depuración y de dispersión. La captación se puede realizar mediante aspiración con campanas, mediante sistemas de soplado o por la acción combinada de ambos. El diseño de los sistemas de captación adquiere una particular importancia para fuentes de emisión discontinuas, dada la variación de contaminantes y forma de operación. [5]



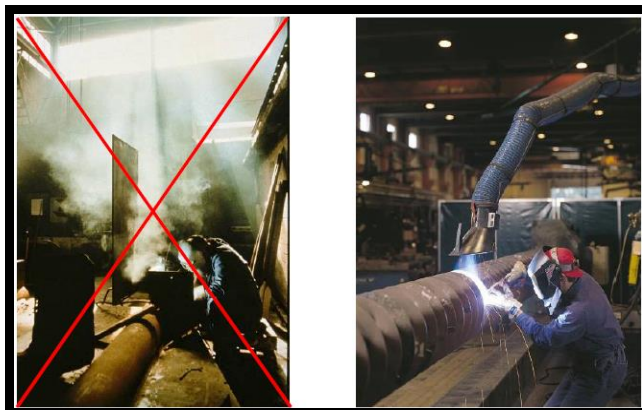
**FIGURA 2.11. TIPOS DE CAMPANAS DE ASPIRACIÓN (a) CERRAMIENTOS (b) CAMPANAS RECEPTORAS (c) CAMPANAS CAPTORAS [5]**

Las campanas de aspiración se pueden clasificar atendiendo a su forma en Cerramientos, Campanas Receptoras y Campanas Captoras cuyos esquemas se muestran en la *Figura 2.11*.

Para captar eficientemente un determinado contaminante se dependerá de su naturaleza, cantidad, tamaño y la forma de la campana, y de la posición relativa de los puntos de emisión. No existe una fórmula exacta que permita diseñar un sistema de captación independientemente de la fuente emisora. No obstante deben considerarse una serie de principios básicos a fin de lograr la mayor eficacia de captación con un caudal de aspiración mínimo:

- ✓ Colocar el dispositivo de captación lo más cerca posible de la fuente.
- ✓ El sistema de captación ha de envolver en la medida de lo posible la fuente.
- ✓ Todas las aberturas se deben reducir al mínimo y situarse fuera del camino natural del contaminante.
- ✓ Las tomas de aspiración deben disponerse de modo que estén en línea con la trayectoria normal del contaminante.
- ✓ Es conveniente que la abertura de aspiración sea mínima, ya que condiciona el dimensionamiento. [5]

La forma más eficiente de recoger el aire contaminado, es hacerlo lo más cerca posible del origen. De este modo, se evita extraer grandes cantidades de aire y, sobre todo, se impide que el contaminante se extienda por todo el salón (*Ver Figura 2.12*). El sistema sera capaz de extraer residuos sólidos, polvos, humos y gases, generados de procesos metalúrgicos como la soldadura y el corte de metales.



**FIGURA 2.12. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA [2]**

Los brazos posicionales de extracción localizada son la mejor opción porque tienen las siguientes ventajas:

- ✓ Son más fáciles de posicionar y muy flexibles.
- ✓ Tienen más alta capacidad de captura.
- ✓ Son la mejor protección para el trabajador.
- ✓ Se pueden poner fuera del paso cuando no se utilizan.
- ✓ Existe una amplia gama de modelos y tipos.

## CAPÍTULO 3

### 3. DISEÑO Y CÁLCULOS DE LOS COMPONENTES DEL PROCESO.

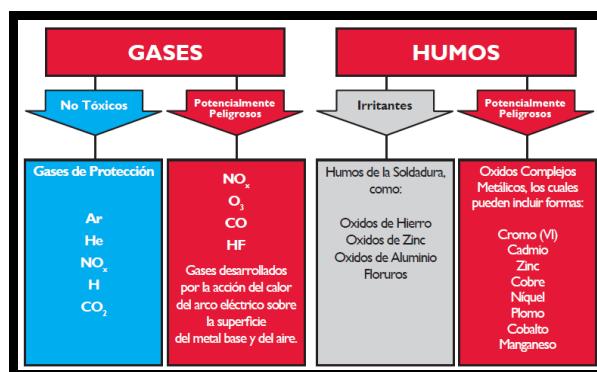
#### 3.1 Diseño y Cálculo de la Campana de Aspiración con sus Conductos y Ventiladores.

A continuación se analizarán los parámetros necesarios para el correcto diseño de la campana de aspiración y sus conductos, con las variables disponibles para que el sistema de ventilación cumpla satisfactoriamente los objetivos propuestos.

#### **Humos y Gases**

La *Figura 3.1* muestra los humos y gases potencialmente peligrosos que se tiene que controlar de tal manera que se centrará en que el

objetivo principal es controlar los límites permisibles de dichos componentes, los mismos que se muestran en la *Tabla 4*.



**FIGURA 3.1. HUMOS Y GASES A CONTROLAR**

**TABLA 4**  
**LÍMITES PERMISIBLES DE HUMOS Y GASES DE SOLDADURA**

| COMPUESTOS           |                   | TWA (8h)          | OLOR UMBRAL                             | TÍPICAS CONCENTRACIONES EXPULSADAS | LEGISLACIÓN AMBIENTAL ECUADOR |
|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| GASES                |                   | mg/m <sup>3</sup> | mg/m <sup>3</sup>                       | mg/m <sup>3</sup>                  | mg/m <sup>3</sup>             |
|                      | CO                | 55                | 0                                       | 3                                  |                               |
|                      | HF                | 2                 | 2.7                                     |                                    |                               |
|                      | NO <sub>2</sub>   | 9                 | 0                                       | 0.2 - 1                            | 400 - 500                     |
|                      | NO                | 30                | 51                                      | 0.01                               | 400 - 500                     |
|                      | O <sub>3</sub>    | 2                 | 0.2                                     | 0.04                               |                               |
| HUMOS                |                   |                   | HUMOS DE SOLDADURA (mg/m <sup>3</sup> ) |                                    | PARTÍCULAS ARCO ELÉCTRICO     |
|                      | Cr(IV)            | 0.05              | 5                                       |                                    | 230 - 350                     |
|                      | Cd                | 0.05              |                                         |                                    |                               |
|                      | Zn                |                   |                                         |                                    |                               |
|                      | Cu                | 0.2               |                                         |                                    |                               |
|                      | Ni                | 0.1               |                                         |                                    |                               |
|                      | Pb                |                   |                                         |                                    |                               |
|                      | Co                |                   |                                         |                                    |                               |
|                      | Mn                | 0.2               |                                         |                                    |                               |
| MATERIAL PARTICULADO |                   | µg/m <sup>3</sup> | POLVO RESPIRABLE (mg/m <sup>3</sup> )   |                                    | µg/m <sup>3</sup> (24h)       |
|                      | PM <sub>2.5</sub> | 40                | 5                                       |                                    | 65                            |
|                      | PM <sub>10</sub>  | 75                |                                         |                                    | 150                           |

La *Tabla 5* muestra las cantidades generadas de Humos metálicos de soldadura provenientes de los electrodos de procesos que se utilizan en el Taller de Soldadura (SMAW, GMAW, FCAW), dichas cantidades son recopiladas y estimadas de la norma AWS F3.2M/F3.2:2001 *Ventilation Guide for Weld Fume*, considerando que los soldadores producen dichos humos en 6 horas de la jornada laboral, de tal manera que para el proceso SMAW con electrodo E6011 de 3.2 mm. de diámetro, por ejemplo, a una tasa de generación de humo de 0.45 g/min. al año se tendría:

$$0.45 \frac{g}{\min} \times \frac{60 \min}{1h} \times \frac{6h}{1día} \times \frac{24días}{1mes} \times \frac{12meses}{1año} = 46.66 \frac{Kg}{año}$$

Los valores obtenidos ratifican los valores propuestos en el *inciso 1.2*.

**TABLA 5**  
**DATOS DE GENERACIÓN DE HUMOS [3]**

| PROCESO Y CLASE DE MATERIAL DE APOORTE | GAS PROTECTOR     | DIÁMETRO (mm) | AMPERAJE (A) | VOLTAJE (V) | TASA DE GENERACIÓN DE HUMO (g/min) | PESO CONVERTIDO A HUMO ( % ) | GENERACIÓN DE HUMO MENSUAL (Kg/mes) | GENERACIÓN DE HUMO ANUAL (Kg/año) | HUMO GENERADO POR CANTIDAD DE ELECTRODO CONSUMIDO (Kg/100Kg electrodo) |
|----------------------------------------|-------------------|---------------|--------------|-------------|------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| SMAW (EX018)                           | -----             | 3.2 mm        | 135          | 24-25       | 0.4                                | 1.55                         | 3.46                                | 41.47                             | 1.57                                                                   |
| SMAW (E6011)                           | -----             | 3.2 mm        | 165          | 33          | 0.45                               | 1.1                          | 3.89                                | 46.66                             | 3.84                                                                   |
| SMAW (E7024)                           | -----             | 3.2 mm        | 200          | 33          | 0.65                               | 1                            | 5.62                                | 67.39                             | 2.05                                                                   |
| SMAW (E3XX-16)                         | -----             | 3.2 mm        | 105          | 25          | 0.1                                | 0.35                         | 0.86                                | 10.37                             | 0.54                                                                   |
| FCAW(E3XXT1-1)                         | Ar 25% CO2<br>75% | 1.2 mm        | 200          | 27          | 0.45                               | 0.55                         | 3.89                                | 46.66                             | 0.87                                                                   |
| FCAW(E70-T5)                           | Ar 25% CO2<br>75% | 2.4 mm        | 300          | 28          | 0.75                               | 1.9                          | 6.48                                | 77.76                             | 1.2                                                                    |
| FCAW(E71T-1)                           | Ar 25% CO2<br>75% | 1.3 mm        | 220          | 24          | 0.45                               | 0.55                         | 3.89                                | 46.66                             | 1.2                                                                    |
| ALAMBRE SÓLIDO (ER70S-6)               | Ar 20% CO2<br>80% | 1.2 mm        | 270          | 28          | 0.45                               | 0.5                          | 3.89                                | 46.66                             | 0.79                                                                   |
| <b>TOTAL</b>                           |                   |               |              |             | <b>3.7</b>                         | <b>7.5</b>                   | <b>31.97</b>                        | <b>383.62</b>                     | <b>12.06</b>                                                           |

### Condiciones Ambientales [11]

Ciudad: Guayaquil

Altitud: 9 m.s.n.m.

Presión atmosférica estándar: 101.22 KPa.

Temperatura máxima Bulbo seco: 34.9 - 36°C.

Temperatura mínima Bulbo seco: 19.9 °C.

Velocidad del Viento Extrema: 6 – 7.3 m/s (Ver **APÉNDICE G**).

Densidad del aire: 1.20 Kg/m<sup>3</sup>. [13].

Viscosidad Absoluta: 18μNs/m<sup>2</sup>. [13].

Viscosidad cinemática: 16 x 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s. [13].

Gravedad: 9.8 m/s<sup>2</sup> [13].

Constante de los gases, aire: 287 J/(kg·°K) [13].

Calor específico a presión constante, aire: 1004 J/(kg·°K) [13]

### Temperatura de Trabajo

La temperatura a la que deben estar las personas para evitar el stress térmico deberá regirse bajo la ecuación 3.1. [13]

$$t_o^{act} = t_o^{sed} - 0.33(0.155 + R_{CL})(M - 70) \quad (3.1)$$

Si se tiene que para las estaciones de Invierno ( $R_{CL} = 0.14 - 0.155$  m<sup>2</sup> °K/W) a 20 – 24 °C y en Verano ( $R_{CL} = 0.08$  m<sup>2</sup> °K/W) a 23 – 26 °C el valor de la tasa metabólica M entre 70 – 175 W/m<sup>2</sup>, se asume 150 W/m<sup>2</sup> y  $R_{CL} = 145$  m<sup>2</sup> °K/W, en condiciones de trabajo la



temperatura promedio de 36 °C, por lo que resolviendo la ecuación se tiene:

$$t_o^{act} = 36 - 0.33(0.155 + 145)[(150 + 273) - (70 + 273)]$$

$$t_o^{act} = 36^{\circ}\text{C} - 7.92^{\circ}\text{C}$$

$$\underline{\underline{t_o^{act} = 28^{\circ}\text{C}}}$$

La temperatura para evitar el stress térmico será de **28°C**.

Según mediciones realizadas la temperatura máxima de los gases y humos en la campana extractora es de 125°C (la temperatura promedio es de **36.5 °C**). A esta temperatura se puede transportar los gases y humos a través de los ductos hacia el sistema de filtración sin ningún tipo de problema.

### **Densidad del Polvo metálico**

Es muy difícil establecer una densidad para los polvos metálicos que se generan por la variedad de materiales y compuestos que se generan, por lo que se tomará en consideración el resultado de análisis granulométrico de una acería local, en cuya muestra de polvo metálico analizada se tuvo una densidad de **530 Kg/m³**, concentraciones  $\text{PM}_{10} = 46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $\text{PM}_{2.5} = 56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; ya que en cierto modo en el proceso de corte y soldadura se llega a las temperaturas de fusión del acero de 1530 °C.

### Velocidad de captación

Se calcula la velocidad de captación con las ecuaciones de Dalla Valle para partículas de menos de 8 mm.

$$V_{cap\ H} = K_2 \left( \frac{\rho_{HM}}{\rho_{HM} + K_3} \right) d_p^{0.4} \quad (3.2)$$

Si se tiene que:  $\rho_{HM} = 530 \text{ Kg/m}^3$ ;  $d_p = 0.3\mu\text{m}$ ; y las constantes adimensionales segun el SI:  $K_2 = 132.4$ ;  $K_3 = 998$ , entonces se tendría la velocidad de captación para ductos horizontales resolviendo la ecuación 3.2.

$$V_{cap\ H} = 132.4 \left( \frac{530}{530 + 998} \right) (0.3 \times 10^{-6})^{0.4}$$

$$\underline{\underline{V_{cap\ H} = 0.11 \text{ m/s}}}$$

Así, mismo:

$$V_{cap\ V} = K_4 \left( \frac{\rho_{HM}}{\rho_{HM} + K_3} \right) d_p^{0.6} \quad (3.3)$$

Si la constante adimensional es  $K_4 = 566$ , se tendría la velocidad de de captación para ductos verticales resolviendo la ecuación 3.3.

$$V_{cap\ V} = 566 \left( \frac{530}{530 + 998} \right) (0.3 \times 10^{-6})^{0.6}$$

$$\underline{\underline{V_{cap\ V} = 0.023 \text{ m/s}}}$$

Considerando que la mínima partícula que se tiene que capturar por el sistema y que tiene que ser retenida en los filtros es de **0.3  $\mu\text{m}$**

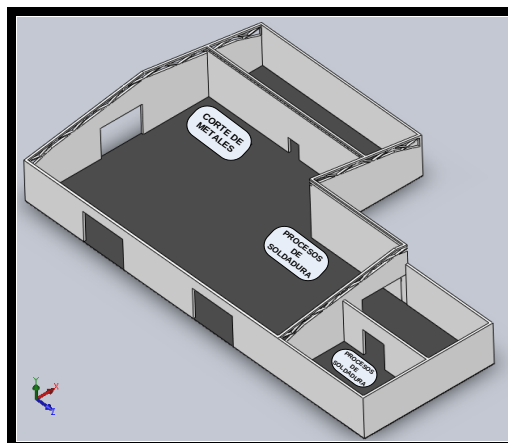
( $0.3 \times 10^{-6} \text{m}$ ) para los contaminantes de alta toxicidad; y que no se tiene un tamaño estándar de partícula, los resultados los lleva a establecer que se considere una velocidad de captura de **0.75 m/s**, valor del rango promedio para procesos de soldadura, según se recomienda y se muestra en la *Figura 3.2*.

| Condiciones de dispersión de contaminantes                                      | Velocidad de captura (m/s) | Ejemplos                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Liberación con velocidad prácticamente nula en aire quieto                      | 0.25 – 0.50                | Evaporación de tanques, desengrasado, etc.                                  |
| Liberación a baja velocidad en aire de movimiento moderado                      | 0.50 – 1.00                | Cabinas de spray, cintas transportadoras de baja velocidad, soldadura, etc. |
| Generación activa dentro de una zona de rápido movimiento de aire               | 1.00 – 2.50                | Pinturas de spray en cabinas                                                |
| Liberación a alta velocidad dentro de una zona de muy rápido movimiento de aire | 2.50 – 10.0                | Abrasivos, muelas, etc.                                                     |

De Bueno y col. Contaminación e Ingeniería Ambiental, FICYT, 1997.

**FIGURA 3.2. VELOCIDADES DE CAPTURA PARA DISTINTOS CONTAMINANTES [5]**

Para el cálculo de las campanas de extracción se centrará en tres puntos del Taller de Soldadura (Ver *Figura 3.3*):

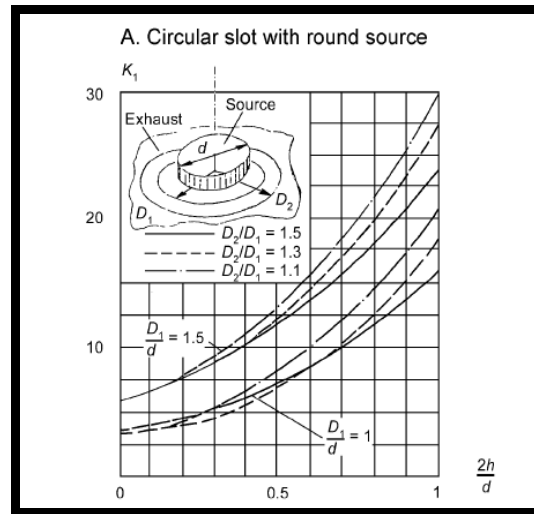


**FIGURA 3.3. SECTORES PARA EXTRACCIÓN LOCALIZADA**

1. El lugar donde se encuentra ubicada la máquina de Corte por Plasma SHADOW DX ESAB, y cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el **APÉNDICE H**.
2. En los sectores en donde se realizan trabajos varios de soldadura.

### **Campana de Extracción para Tabla de procesos de Corte**

Para el cálculo se hará uso de las medidas de los **Planos 2 y 3** (Ver **APÉNDICE A**); de la *Figura 3.4* y de las ecuaciones 3.4, 3.5 y 3.6.



**FIGURA 3.4. RANURA CIRCULAR CON FUENTE REDONDA [13]**

$$Q_o^* = 0.0314(q_{conv}d^5)^{1/3} \left( 1 - 0.06 \frac{q_{conv vert}}{q_{conv hor}} \right) \times K_1 \times K_v \quad (3.4)$$

$$K_v = 1 + 44.7 \sqrt{V_r^3 \frac{d}{q_{conv}}} \quad (3.5)$$

$$q_{conv} = h_{HM}(T_s - T_\infty) \quad (3.6)$$

Si se tiene que: para un diámetro de la fuente  $d = 0.4$  m;  $D_2 = 0.9$  m;  $D_1 = 0.83$  m y  $h_{camp} = 0.15$  m; entonces los valores para el uso de la *Figura 3.4* serían:  $D_2 / D_1 = 1.08$ ,  $D_1 / d = 2.075$  y  $2h/d = 0.75$

Si se asumi que  $q_{conv hor} = q_{conv vert}$  porque el corte se lo realiza perpendicular a la extracción y  $V_r = 0.40$  m/s que es la velocidad de circulación de aire en el taller, aproximadamente. Además

considerando una de  $T_s = 1530\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Temperatura de Fusión del Acero cuando se lo corta) y  $T_{\infty} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Temperatura ambiente), con un  $h_{HM} = 25\text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{K}$  recomendado para gases, se tendría los siguientes resultados, resolviendo las ecuaciones 3.4, 3.5 y 3.6.

$$q_{conv} = 25\text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{K} (1803^{\circ}\text{K} - 301^{\circ}\text{K}) \times 24\text{ m}^2$$

$$\underline{\underline{q_{conv} = 901200\text{ W}}}$$

$$K_v = 1 + 44.7 \sqrt{0.4^3 \frac{0.4}{901200\text{ W}}}$$

$$\underline{\underline{K_v = 1.008}}$$

$$Q_o^* = 0.0314 (901200\text{ W} \times 0.4^5)^{1/3} \left( 1 - 0.06 \frac{901200\text{ W}}{901200\text{ W}} \right) \times 20 \times 1.008$$

$$\underline{\underline{Q_o^* = 12.44\text{ m}^3/\text{s}}} \times 3600\text{ s}/1\text{ h} = \underline{\underline{44784\text{ m}^3/\text{h}}}$$

### **Campana de Extracción tipo brazo para procesos de Soldadura.**

Para el cálculo se hará uso de las medidas del **Plano 4** (Ver **APÉNDICE A**), con sus Especificaciones Técnicas (Ver **APÉNDICE B-1**); de la *Figura 3.5* y de las ecuaciones 3.7, 3.8 3.9 y 3.10.

$$Q_o^* = K_5 Q_o \quad \mathbf{(3.7) [13]}$$

$$Q_o = A_o \times V_{cap} \quad \mathbf{(3.8) [13]}$$

$$Q_o > \frac{G}{0.25C_{\text{exp}(\min)}} \quad \textbf{(3.9) [13]}$$

$$\frac{V_x}{V_{\text{cap}}} = \left( 1 + 10x^2 \sqrt{A_o} \right)^{-1}$$

$$x \leq 1.7\sqrt{A_o} \quad \textbf{(3.10) [13]}$$

$$\alpha \leq 30^\circ$$

Los brazos flexibles de campanas de extracción tienen normalmente diámetros entre 140 mm a 160 mm, por lo que para este diseño se considerará un diámetro de **200 mm**.

De acuerdo a la *Tabla 5* se tiene una tasa total de generación de humos metálicos de 3.7 g/min, y si se considera un tiempo de ejecución de soldadura de 42 minutos/hora se tendría:

$$G = 3.7 \frac{\text{g}}{\text{min}} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} = \underline{\underline{0.0037 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}}} \times \frac{42 \text{ min}}{1\text{h}} = \underline{\underline{0.1554 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}}$$

Además se tiene que:  $K_5 \approx 1$  coeficiente asumido según el movimiento del aire;  $V_{\text{cap}} = 0.75\text{m/s}$ ;  $A_o = \pi d_{\text{camp}}^2/4 = \pi 0.2^2/4 = 0.0314 \text{ m}^2$ ;  $\alpha = 30^\circ$ , ángulo que determina la inclinación de la campana. Se considera también como dato  $C_{\text{exp}(\min)} =$  para una niebla fina y acompañada de vapor, cuyo valor es de aproximadamente  $48 \text{ g/m}^3$  de aire, de ésta manera se resuelve la ecuación 3.8.

$$Q_o = 0.0314m^2 \times 0.75m/s = 0.024m^3 / seg$$

Luego se resuelve la ecuación 3.9.

$$Q_o > \frac{61.62mg/s}{0.25(48000mg/m^3)}$$

$$Q_o > \frac{0.62mg/s}{0.25(48g/m^3)}$$

$$\underline{\underline{Q_o > 0.0051m^3/s}}$$

Como el caudal debe ser mayor a 0.0051 m<sup>3</sup>/s, se escoge un caudal de 0.20 m<sup>3</sup>/s por recomendación de la Norma AWS F3.2M/F 3.2:2001 Ventilation Guide for Weld Fume, y se resuelve la ecuación 3.7.

$$Q_o^* = 1 \times 0.20m^3/s = \underline{\underline{0.20m^3/s}}$$

Se calculará la distancia y la velocidad de captura en un punto con la ecuación de Dalla Valle (3.10)

$$x \leq 1.7\sqrt{0.0314}$$

$$\underline{\underline{x \leq 0.30m}}$$

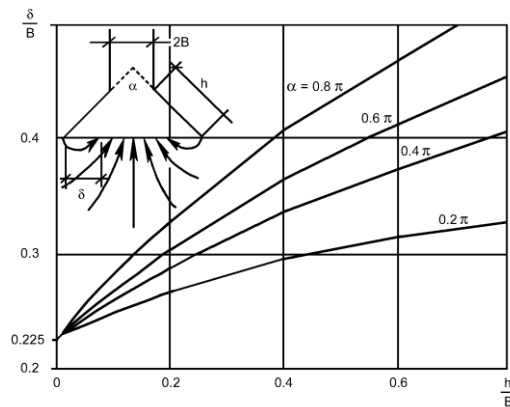
$$\alpha \leq 30^\circ$$

$$\frac{V_x}{0.75} = \left(1 + 10(0.30)^2 / 0.0314\right)^{-1}$$

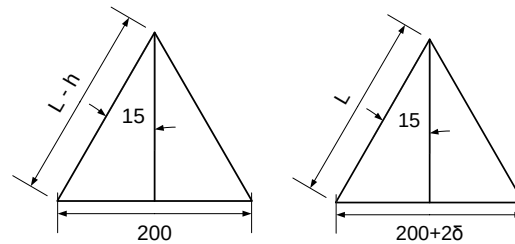
$$\underline{\underline{V_x = 0.0252m/s}}$$



De acuerdo a la *Figura 3.5* se hace la primera aproximación para  $\delta \approx 25\text{mm}$ , si  $2B=200$  entonces se resuelve las ecuaciones 3.11 y 3.12.



**FIGURA 3.5. INFLUENCIA DE CONFIGURACIÓN EN LA ENTRADA DE LA CAMPANA [13]**

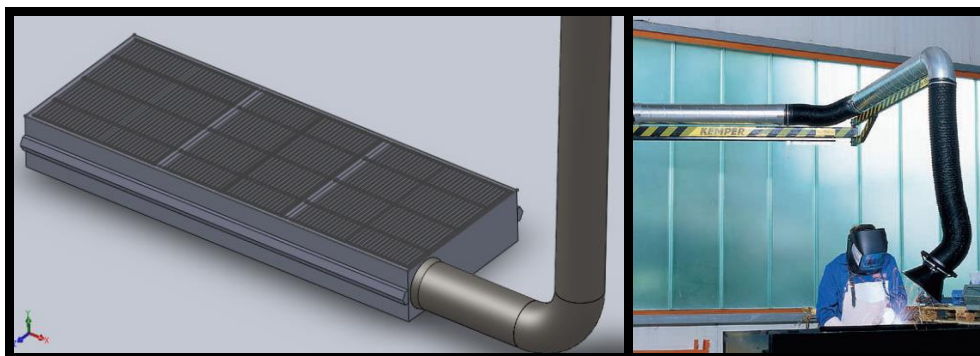


$$\text{Sen}15^\circ = \frac{100}{L-h} \quad (3.11) \quad \text{y} \quad \text{Sen}15^\circ = \frac{100+\delta}{L} \quad (3.12)$$

$$L = \frac{100+25}{\text{Sen}15^\circ} = 483\text{mm} \quad ; \quad h = L - \frac{100}{\text{Sen}15^\circ} = 483 - 386 = 97\text{mm}$$

$$h/B = 97\text{mm}/100\text{mm}=0.97; \alpha=30^\circ \approx 0.2\pi ; \delta/B = 0.32$$

$$\delta = 0.32 \times 100 = \underline{\underline{32\text{mm}}}$$



**FIGURA 3.6. CAMPANAS DE EXTRACCIÓN**

La *Figura 3.6*, muestra las campanas de aspiración que se utilizarán en el Sistema de Extracción, según los diseños realizados.

#### **Diseño de Ductos.**

Entre los gases y humos es muy probable que existan partículas presentes y éstas se sedimentan a lo largo del sistema de extracción, por lo que se diseñará con el método de *velocidad constante* (Se mantendrá una velocidad mayor a la mínima velocidad de sustentación de las partículas). Para partículas menores a  $5\mu\text{m}$  se utiliza la ecuación de Stokes-Cunningham (3.13) y las ecuaciones 3.14 y 3.15.

$$V_t = K_c \times V_{t\text{stokes}} \quad \text{Si } 10^{-4} < \text{Re} < 0.5 \quad \mathbf{(3.13) [5]}$$

$$V_{t\text{stokes}} = \frac{g \times d_p \times \rho_p}{18\mu_g} \quad \mathbf{(3.14) [5]}$$

$$K_c = 1 + A_c \left( \frac{2\lambda}{d_p} \right) \quad (3.15) \quad [5]$$

Si se tiene que  $A_c=0.86$ ;  $\lambda=0.07\mu\text{m}$ ; según lo indicado en la bibliografía [5] y  $d_p=0.3\mu\text{m}$ ;  $\rho_p= 530 \text{ Kg/m}^3$ ; Viscosidad cinemática =  $16 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ , y resolviendo las ecuaciones 3.13, 3.14 y 3.15.

$$V_t = K_c \times V_{t\text{stokes}}$$

$$V_{t\text{stokes}} = \frac{9.8 \text{ m/s}^2 \times 3 \times 10^{-6} \text{ m} \times 530 \text{ kg/m}^3}{18 \times 16 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$V_{t\text{stokes}} = \underline{\underline{0.54 \text{ m/s}}}$$

$$K_c = 1 + 0.86 \left( \frac{2 \times 0.07}{0.3} \right) = 1.40$$

$$V_t = 1.40 \times 0.54 \text{ m/s} = \underline{\underline{0.75 \text{ m/s}}}$$

| Tipo de Material                  | Velocidad mínima (m/s) | Ejemplos                                                                         |
|-----------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Gases, polvos muy finos y ligeros | 10-13                  | polvos de harina, grano, goma fina, pintura en spray                             |
| Polvos finos y secos              | 15                     | polvo de cacao, algodón, almidón, plásticos, jabón                               |
| Polvos industriales típicos       | 18                     | arcilla, cal, áridos                                                             |
| Polvos bastos                     | 20-23                  | polvo de aluminio, hierro, cobre, carbón, plomo, magnesio, sílice, gomas gruesas |
| Polvos pesados o húmedos          | >23                    | polvos de fundición y de metal gruesos                                           |

**FIGURA 3.7. VELOCIDADES MÍNIMAS DE TRANSPORTE DE CONDUCTOS [5]**

Mientras más se asegure la sustentación de los sólidos, menores probabilidades habrá para la precipitación de los mismos y por ende

la posibilidad de taponamientos. Para determinar una adecuada velocidad de sustentación del sistema, ésta será de **23 m/s**, según diseño de ductos anteriores y recomendados para este tipo de contaminantes. (Ver *Figura 3.7*)

Se procede a diseñar los ductos con el método de velocidad constante, balanceando presiones y recalculando los flujos. Este método presenta ventajas como: Poca erosión y la no acumulación de polvos; es ideal para manejar contaminantes altamente tóxicos; no hay taponamientos con velocidades correctamente escogidas. Si se escoge mal el ramal de mayor caída de presión, el procedimiento lo detecta fácilmente. Así también presenta desventajas como: no se pueden cambiar los flujos fácilmente; poca flexibilidad en ampliaciones futuras y procedimiento largo en cálculos.

Con el **Plano 1** del **APÉNDICE A**, se procede a calcular el diámetro del ducto y las caídas de Presión. Si se tiene que para los ramales los caudales son los calculados según los diseños de las campanas y con las ecuaciones 3.16, 3.17 y 3.18.

$$A = Q_{ramal} / v \quad (3.16)$$

$$A = \frac{\pi \times d_{ducto}^2}{4} \quad (3.17)$$

$$d_{ducto} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$v = 4.033VP^{1/2}$$

$$VP = (v / 4.033)^2 \quad \mathbf{(3.18)}$$

$$VP = (23 / 4.033)^2 = \underline{\underline{32.52 mm c.d.H_2O}}$$

Si se tiene caudales de 0.20 m<sup>3</sup>/s (Procesos de Soldadura) y de 12.44 m<sup>3</sup>/s (Procesos de corte), con una velocidad de sustentacion de 23 m/s; de tal manera que resolviendo las ecuaciones 3.16, 3.17, 3.18 y de acuerdo al **Plano 5** del **APÉNDICE A**, se tendría resultados que se muestran en la *Tabla 6*.

**TABLA 6**  
**DIÁMETROS DE DUCTOS**

|    | TRAMOS    | CAUDAL<br>Q(m³/h) | CAUDAL<br>Q(m³/s) | ÁREA<br>A(m²) | DIÁMETRO<br>d <sub>ducto</sub> (mm) | LONGITUD<br>(mm) | TOTAL<br>(mm) | PROCESO             |
|----|-----------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------|------------------|---------------|---------------------|
| 1  | A         | 720               | 0.2               | 0.0087        | 105                                 | 15500            | 75420         | SOLDADURA (Ramal 1) |
| 2  | B         | 1440              | 0.4               | 0.0174        | 149                                 |                  |               |                     |
| 3  | C         | 2160              | 0.6               | 0.0261        | 182                                 |                  |               |                     |
| 4  | D         | 2880              | 0.8               | 0.0348        | 210                                 | 15000            |               |                     |
| 5  | E         | 3600              | 1                 | 0.0435        | 235                                 | 17600            |               |                     |
| 6  | F         | 4320              | 1.2               | 0.0522        | 258                                 |                  |               |                     |
| 7  | G         | 5040              | 1.4               | 0.0609        | 278                                 |                  |               |                     |
| 8  | H         | 5760              | 1.6               | 0.0696        | 298                                 | 27320            |               |                     |
| 9  | I - J - K | 44784             | 12.44             | 0.5409        | 830                                 | 7000             | 24000         | CORTE<br>(Ramal 2)  |
| 10 | P-Q-R- S  | 50544             | 14.04             | 0.6104        | 882                                 | 17000            |               |                     |

### **Pérdidas de Energía.**

Para el cálculo de las pérdidas que tendrán dos ramales haciendo uso de las ecuaciones 3.19, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.26, 3.27, 3.28 y 3.29, cuyos resultados se muestran en la *Tabla 7*.

### **Ramal de Contaminantes de Soldadura.**

Pérdidas para la *entrada de la campana*,  $he_c = 0.08VP$  **(3.19)**, según la *Figura 5-12* del **APÉNDICE I** para un ángulo de  $\alpha=30^\circ$ .

Pérdidas de *fricción por longitud de ducto* para caudales de 720 m<sup>3</sup>/h, en cada campana, diámetros variables y asumiendo tramos iguales en cada subtotal de longitud,  $he_L = factor \times L_{ramal1}$  **(3.20)**, según el **APÉNDICE I** y *Tabla 7*, donde  $L_{ramal1}$ : Longitud del ramal 1.

Pérdidas en 2 *codos* de 90° con radio de curvatura 1.5D,  $he_{90} = 0.39VP$  **(3.21)**, según Figuras 5-13, 6-12, MS-8 del **APÉNDICE I**.

Pérdidas en 2 *codos* de 45° con radio de curvatura 2D,  $he_{45} = 2.5VP$  **(3.22)**, según Figura MS-8 del **APÉNDICE I**.

Pérdidas en 8 conexiones Y a 60°,  $he_Y = 0.44VP$  **(3.27)**, según Figuras 5-13, 6-13, MS-8 del **APÉNDICE I**.

La pérdida total  $h_T$  del tramo1 sería  $h_T = he_c + he_L + he_{90} + he_{45} + he_Y$

**(3.23)**

**TABLA 7**  
**PÉRDIDAS EN TRAMOS DE DUCTOS**

| PROCESO             | DIÁMETRO<br>$d_{ducto}$ (mm) | LONGITUD<br>(mm) | FACTOR | PÉRDIDAS<br>$h_{eL}$<br>(mm c. d.<br>H <sub>2</sub> O) | PÉRDIDAS<br>TOTAL $h_{eL}$<br>(mm c. d.<br>H <sub>2</sub> O) |
|---------------------|------------------------------|------------------|--------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| SOLDADURA (Ramal 1) | 105                          | 15500            | 4      | 20.7                                                   | 176.9                                                        |
|                     | 149                          |                  | 4      | 20.7                                                   |                                                              |
|                     | 182                          |                  | 3.2    | 16.5                                                   |                                                              |
|                     | 210                          | 15000            | 2.5    | 18.8                                                   |                                                              |
|                     | 235                          |                  | 2.3    | 17.3                                                   |                                                              |
|                     | 258                          | 17600            | 2      | 35.2                                                   |                                                              |
|                     | 278                          | 27320            | 1.8    | 24.6                                                   |                                                              |
|                     | 298                          |                  | 1.7    | 23.2                                                   |                                                              |
| CORTE (Ramal 2)     | 830                          | 7000             | 0.5    | 3.5                                                    | 10.6                                                         |
|                     | 882                          | 17000            | 0.4    | 7.1                                                    |                                                              |

#### **Ramal de operaciones de corte.**

Pérdidas para la entrada de la campana,  $he_c = 0.08VP$  **(3.24)**, según según la Figura 5-12 del **APÉNDICE I**, para un ángulo de  $\alpha=60^\circ$ .

Pérdidas de fricción por longitud de ducto para caudal de entrada 44784 m<sup>3</sup>/h y de salida de 50544 m<sup>3</sup>/h y diámetros variables,

$he_L = factor \times L_{ramal2}$  **(3.25)**, según el **APÉNDICE I** y *Tabla 7*, donde

$L_{ramal2}$ : Longitud del ramal 2.

Pérdidas en 7 *codos* de 90° con radio de curvatura 1.25D,

$he = 0.55VP$  **(3.26)**, según Figuras 5-13, 6-12, MS-8 del **APÉNDICE I**.

Pérdidas en 1 *conexión Y* a 60°,  $he_Y = 0.44VP$  **(3.27)**, según Figuras

5-13, 6-13, MS-8 del **APÉNDICE I**.

Pérdidas en 1 *salida de la chimenea* para  $H=1.0D$ ,

$he_{ch} = 0.10VP$  **(3.28)**, según Figura 6-13 del **APÉNDICE I**.

**TABLA 8**  
**PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR RAMAL**

| PROCESO      | ELEMENTO          | CANTIDAD    | PRESIÓN DINÁMICA VP            | PÉRDIDAS $he$ | PÉRDIDAS $he$ mm c.d. H <sub>2</sub> O | TOTAL $h_T$ mm c.d. H <sub>2</sub> O |
|--------------|-------------------|-------------|--------------------------------|---------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| SOLDADURA    | CAMPANA           | 8           | 32.52 mm c.d. H <sub>2</sub> O | 0.08 VP       | 20.8                                   | 500.1                                |
|              | CODO 90° R=1.5D   | 2           |                                | 0.39 VP       | 25.4                                   |                                      |
|              | CODO 45°          | 2           |                                | 2.5 VP        | 162.6                                  |                                      |
|              | CONEXION Y 60°    | 8           |                                | 0.44 VP       | 114.4                                  |                                      |
|              | LONG. RAMAL 1 (m) | Ver Tabla 7 |                                | Ver Tabla 7   | 176.9                                  |                                      |
| CORTE PLASMA | CAMPANA           | 1           |                                | 0.08 VP       | 2.6                                    | 156                                  |
|              | CODO 90° R=1.25D  | 7           |                                | 0.55 VP       | 125.2                                  |                                      |
|              | CONEXION Y 60°    | 1           |                                | 0.44 VP       | 14.3                                   |                                      |
|              | SALIDA CHIMENEA   | 1           |                                | 0.10 VP       | 3.3                                    |                                      |
|              | LONG. RAMAL 2 (m) | Ver Tabla 7 |                                | Ver Tabla 7   | 10.6                                   |                                      |



La pérdida total  $h_T$  del tramo 2 sería  $h_T = h_{e_c} + h_{e_L} + h_{e_{90}} + h_{e_Y} + h_{e_{ch}}$  **(3.29).**

Los resultados de los cálculos de ambos ramales se muestran en la *Tabla 8*.

Sumando estas pérdidas a la presión dinámica o cabezal dinámico, se obtiene el valor de la presión estática o cabezal estático que se genera a lo largo de los dos ramales, con la ecuación 3.29.

$$SP = VP + h_T \quad \mathbf{(3.29)}$$

$$SP = VP + h_{Tramal1} = 32.52 + 500.1 = \underline{\underline{532.62 \text{ mm c.d. } H_2O}}$$

$$SP = VP + h_{Tramal2} = 32.52 + 156 = \underline{\underline{188.52 \text{ mm c.d. } H_2O}}$$

### **Espesor mínimo de pared requerido**

Para tuberías metálicas rectas con presiones internas, la ecuación 3.30 sirve para calcular el espesor mínimo requerido y es aplicable para razones de diámetros/espesores superiores a seis. [18]

$$t_m = \frac{PD_0}{2(SE + PY)} + C \quad \mathbf{(3.30)}$$

Para determinar la presión de diseño se considera la presión interna a la cual está sometida la tubería más 10% como factor de

seguridad. Por lo tanto la presión de diseño se calculará con la ecuación 3.31.

$$P = SP + 0.1SP = 1.1SP \quad \mathbf{(3.31)}$$

De manera que, para el **Ramal 1** se tiene:

$$P = 1.1 \left( 532.62 \text{ mm c.d. } H_2O \times \frac{1 \text{ atm}}{10333 \text{ mm c.d. } H_2O} \times \frac{1.013 \times 10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} \right)$$

$$P = \underline{\underline{5.74 \text{ KPa}}}$$

Para el **Ramal 2** se tiene:

$$P = 1.1 \left( 188.52 \text{ mm c.d. } H_2O \times \frac{1 \text{ atm}}{10333 \text{ mm c.d. } H_2O} \times \frac{1.013 \times 10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} \right)$$

$$P = \underline{\underline{2.03 \text{ KPa}}}$$

Los ductos serán contruidos de acero de Buena resistencia mecanica, Buena soldabilidad y de fácil adquisición como el ASTM A36. De tal manera que  $S = 36 \text{ Ksi} \approx 248 \text{ MPa}$ ;  $E=0.85$  (Tubería soldada por Resistencia eléctrica);  $Y=0.4$  (Tabla 304.1.1 de la Norma ASME B 31.3 – 2002 Process Piping); datos obtenidos de las Figuras del **APÉNDICE I**.

El código ASME recomienda que un desgaste por corrosión de 5 milésimas de pulgada por año generalmente ser satisfactorio y si se estima una vida útil de 10 años el factor C sería:

$$C = 0.005 \frac{pulg}{año} \times 0.0254 \frac{m}{1pulg} \times 10 años = \underline{\underline{0.00127m}}$$

De tal manera que resolviendo la ecuación 3.30 se tiene:

Para el Ramal 1:

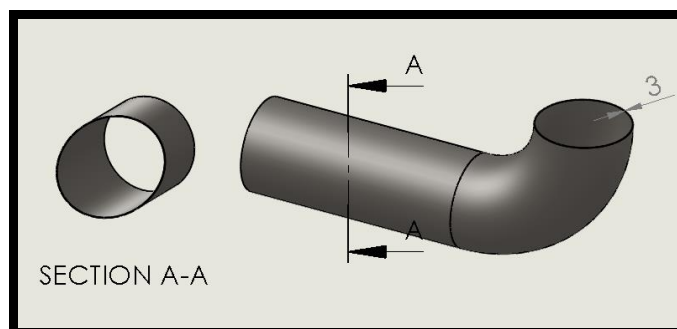
$$t_m = \frac{5.74 KPa \times 0.105m}{2(248 \times 10^3 KPa \times 0.85 + 5.74 KPa \times 0.4)} + 0.00127m$$

$$t_m = 0.00127m = \underline{\underline{1.27mm}}$$

Para el Ramal 2:

$$t_m = \frac{2.03 KPa \times 0.830m}{2(248 \times 10^3 KPa \times 0.85 + 2.03 KPa \times 0.4)} + 0.00127m$$

$$t_m = 0.00127m = \underline{\underline{1.27mm}}$$



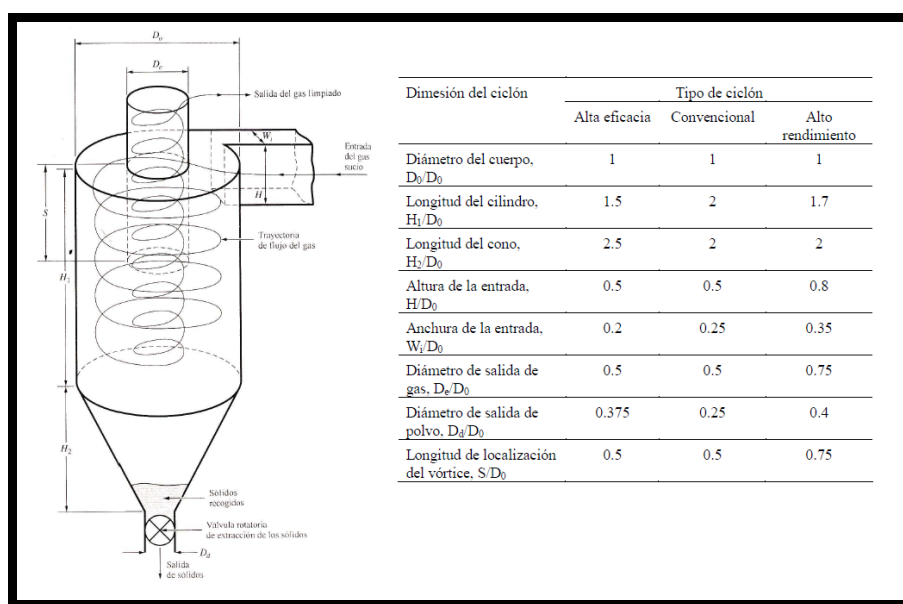
**FIGURA 3.8. ESPESOR DE DUCTOS**

En consecuencia los ductos deberán ser de un espesor mayor a 1.27 mm. se escoge entonces un espesor de **3 mm**, (Ver *Figura 3.8*).

La selección de los ventiladores se indica en el apartado 3.5.

### 3.2 Diseño y Cálculo del Ciclón.

En la *Figura 3.9* se muestran las relaciones geométricas de los ciclones en función del diámetro del cuerpo cilíndrico,  $D_0$ .



**FIGURA 3.9. RELACIONES GEOMÉTRICAS DE UN CICLÓN [5]**

Los ciclones se diseñan con semejanza geométrica de modo que la relación de las dimensiones permanece constante para diferentes

diámetros. El valor de dichas relaciones indica si el ciclón es de tipo convencional, de elevada eficacia o de alto rendimiento. Los ciclones diseñados para trabajar a elevada eficacia presentan pequeños diámetros, largos cilindros y velocidades de entrada elevadas. Sin embargo, la reducción del diámetro incrementa la caída de presión. Para elevados caudales se utilizan menores longitudes del cuerpo, velocidades de entrada pequeñas y mayores diámetros de salida de gases. [5]

Establecidas las dimensiones geométricas se puede determinar, de forma aproximada, el número de vueltas efectivas con la ecuación 3.32 y los parámetros de la *Figura 3.8*.

$$N_e = \frac{1}{H} \left[ H_1 + \frac{H_2}{2} \right] \quad (3.32)$$

La eficacia de los ciclones depende fuertemente del tamaño de partícula, incrementándose a medida que aumenta el tamaño de partícula. La eficacia global del ciclón se calculará a partir de la distribución de tamaños de partículas y de la eficacia de captación para cada tamaño. [5]

Se puede determinar la eficacia, según el modelo de Rossin, Rammler e Intelmann, asumiendo flujo laminar para las partículas

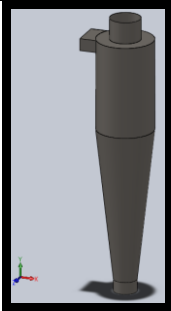
que son capturadas, y sustituyendo en la velocidad de sedimentación de Stokes el efecto de la aceleración gravitacional por la centrífuga, para su cálculo se usará la ecuación 3.33.

$$\eta = \frac{\pi \times N_e \times \rho_{HM} \times d_p^2 \times V_g}{9 \times \mu_g \times W_i} \quad (3.33)$$

Los resultados de la aplicación de las ecuaciones 3.32, 3.33 y *Figura 3.8*, se muestran en la *Tabla 9*, y cuya eficiencia del 69.81% indica que cumple con el rango de un ciclón de alta eficacia. Se detallan sus dimensiones en el **Plano 6** del **APÉNDICE A**.

**TABLA 9**  
**RESULTADOS DE PARÁMETROS DEL CICLÓN**

| PARÁMETROS DEL CICLÓN |       |                                     |          |
|-----------------------|-------|-------------------------------------|----------|
| H <sub>2</sub> (m)    | 2.5   | N <sub>e</sub>                      | 5.5      |
| H <sub>1</sub> (m)    | 1.5   | ρ <sub>p</sub> (Kg/m <sup>3</sup> ) | 530      |
| H (m)                 | 0.5   | d <sub>p</sub> (m)                  | 0.00001  |
| W <sub>i</sub> (m)    | 0.2   | V <sub>g</sub> (m/s)                | 24.7     |
| D <sub>e</sub> (m)    | 0.5   | μ (Ns/m <sup>2</sup> )              | 0.000018 |
| D <sub>d</sub> (m)    | 0.375 | η (%)                               | 69.81    |
| S (m)                 | 0.5   | CICLÓN DE ALTA EFICACIA             |          |
| D <sub>o</sub> (m)    | 1     |                                     |          |



Este modelo indica que la eficacia de un ciclón se puede cambiar aumentando el tamaño de la partícula o su densidad, la longitud del cuerpo cilíndrico, el número de vueltas efectivas, la carga de partículas y la velocidad de entrada del gas. No obstante, el efecto positivo de la velocidad de entrada del gas sobre la eficacia se produce únicamente entre ciertos límites, ya que a velocidades excesivamente elevadas surgen turbulencias que distorsionan el flujo reduciendo la eficacia. [5]

En general se admite que en los ciclones estándar la velocidad de admisión debe estar comprendida entre **8 y 30 m/s**. Se necesita que la velocidad sea mayor a 23 m/s según lo mencionado anteriormente, entonces se escoge una velocidad de **24.7 m/s**). También la relación al diámetro del cuerpo del cilindro/diámetro de salida del gas, o la utilización de materiales “lisos” para la construcción del ciclón aumentan la eficacia. La eficacia del ciclón disminuirá con la densidad y viscosidad del gas, el diámetro de salida del gas, y el área de admisión al ciclón. [5]

### **Caída de Presión en ciclones.**

Existe un compromiso entre la caída de presión y la eficacia de captación. En general, cuanto mayor es la eficacia mayores son las

pérdidas de presión y en consecuencia mayor es el consume energético, ya que tanto la eficacia de captación como la pérdida de carga son mayores a medida que aumenta la velocidad del gas a la entrada del ciclón. La caída de presión en ciclones es una función de la velocidad de entrada del gas y se puede estimar de modo aproximado por la ecuación 3.34.

$$\Delta P = H_v \frac{\rho_g \times V_g}{2} \quad (3.34)$$

Aunque se han desarrollado numerosas ecuaciones empíricas para la estimación de  $H_v$ , la ecuación 3.35 de Shepherd y Lapple (1939-1940) proporciona una estimación razonable y considerando  $K=16$  para cyclones convencionales.

$$H_v = K \frac{HW_i}{D_e^2} \quad (3.35)$$

Con el uso de las ecuaciones 3.34 y 3.35 se obtienen los resultados que se muestran en la *Tabla 10*.

**TABLA 10**  
**PÉRDIDA DE PRESIÓN DEL CICLÓN**

| PARÁMETROS CALCULADOS                         |       |
|-----------------------------------------------|-------|
| <b><math>\Delta P</math> (Pa)</b>             | 94.85 |
| <b><math>H_v</math></b>                       | 6.4   |
| <b>K</b>                                      | 16    |
| <b><math>\rho_g</math> (Kg/m<sup>3</sup>)</b> | 1.2   |



### 3.3 Diseño y Cálculo del Filtro de Mangas

Para diseñar los sistemas de filtros se ha basado en referencias técnicas obtenidas para este tipo de proceso, según AWS F3.2M/F 3.2:2001 *Ventilation Guide for Weld Fume*. De tal manera que el sistema de filtros de mangas es uno de los más recomendables para coleccionar partículas de este tipo. Las ventajas y limitaciones fueron expuestas en la *sección 2.3*.

Entre los factores que se deben tener en cuenta en el diseño de este sistema y en su vida útil, se destaca: el modo de limpieza, la resistencia a las altas temperaturas y la admisión o velocidad de filtración. La limpieza por chorro de aire es muy efectiva y no deteriora las mangas ni el sistema por excesivos movimientos o vibraciones. En cuanto a las altas temperaturas se debe considerar que el material de las mangas es inflamable y muchas de ellas no resisten temperaturas que sobrepasen los 120°C o 140°C. [5]

Se debe tener especial cuidado en la caída de presión de los gases en el filtro ya que un elevado valor aumentaría aún más el tamaño del ventilador o ventiladores que se utilizarán en el sistema de extracción.

### Cálculo del área filtrante

Para calcular el área filtrante se considera que el caudal que se desea filtrar es el que pasa por el ducto P, según **Plano 1** del **APÉNDICE A**. Caudal = 50544 m<sup>3</sup>/h. En la referencia bibliográfica [16] se menciona que la velocidad de filtración aconsejada por la EPA es de **6 a 8 FPM**. Se escoge **8 FPM = 2.44 m/min**.

Utilizando la ecuación 3.36, se procede a calcular el área de filtrado.

$$Q_T = A_{\text{filtrado}} \times V_{\text{filtración}} \quad (3.36)$$

$$V_{\text{filtración}} = 8 \frac{\text{ft}}{\text{min}} \times 0.3048 \frac{\text{m}}{1 \text{ft}} = \underline{\underline{2.44 \frac{\text{m}}{\text{min}}}}$$

$$A_{\text{filtrado}} = \frac{Q_T}{V_{\text{filtración}}} = \frac{50544 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1 \frac{\text{h}}{60 \text{min}}}{2.44 \frac{\text{m}}{\text{min}}}$$

$$A_{\text{filtrado}} = \underline{\underline{345.2 \text{m}^2}}$$

### Pérdida de presión en el filtro

Las pérdidas de presión en el filtro de mangas se producen por dos factores:

1. Caída de presión cuando los gases circulan por los ductos de entrada y salida.
2. Caída de presión cuando los gases son filtrados por las mangas.

De acuerdo a los valores que se obtienen al evaluar estas dos pérdidas de presión, se considera por simplicidad que la primera es despreciable con respecto a la segunda.

Cuando las mangas están limpias se produce una caída de presión determinada, la misma que va aumentando a medida que pasan los gases, ya que, se va acumulando el polvo en la superficie filtrante. Se debe entonces inyectar un chorro de aire comprimido cada determinado tiempo para limpiar las mangas y evitar que la caída de presión sea demasiado elevada. [17]

La pérdida de presión, cuando las mangas están limpias, se calcula con la ecuación 3.37.

$$(P_e)_{\Delta W} = 1.045 \times V_{filtración} \times P_j^{-0.65} \quad \textbf{(3.37)} \quad [17]$$

Luego que transcurre cierto tiempo  $t$ , la caída de presión se calcula con la ecuación 3.38.

$$\begin{aligned} \Delta P &= (P_e)_{\Delta W} + K_r \times W_o \times V_{filtración} \\ W_o &= C_i \times V_{filtración} \times t \end{aligned} \quad \textbf{(3.38)} \quad [17]$$

Si se considera  $C_i = 0.015$ ;  $K_r = 1.5 \times 10^5$ ;  $P_j = 80 \text{ psi} = 552 \text{ KPa}$ , según la EPA [19], entonces la caída de presión luego de inyectar el pulso de aire para la limpieza de las mangas es:

$$(P_e)_{\Delta W} = 1.045 \times 2.44 \frac{m}{\min} \times \frac{1 \min}{60s} \times 552 KPa^{-0.65}$$

$$(P_e)_{\Delta W} = \underline{\underline{7 \times 10^{-4} KPa}}$$

Si el tiempo entre pulsos es de tres minutos, es decir, 180 segundos, se tiene que la caída de presión luego de este tiempo será:

$$W_o = 0.015 \times 0.040 \times 180 = 0.108 Kg / m^2 s$$

$$\Delta P = 7 \times 10^{-4} KPa + (1.5 \times 10^5 \times 0.108 \times 0.040) / 1000$$

$$\Delta P = \underline{\underline{0.648 KPa}}$$

Si se repite los cálculos en función de tiempos de limpieza se obtiene los resultados que se muestran en la *Tabla 11*.

**TABLA 11**  
**PÉRDIDA DE PRESIÓN DEL FILTRO DE MANGAS**

| Wo    | TIEMPO | CAÍDA DE PRESIÓN $\Delta P$ |                          |
|-------|--------|-----------------------------|--------------------------|
|       |        | KPa                         | mm c.d. H <sub>2</sub> O |
| 0.036 | 1      | 0.22                        | 22                       |
| 0.072 | 2      | 0.43                        | 44                       |
| 0.108 | 3      | 0.65                        | 66                       |
| 0.144 | 4      | 0.86                        | 88                       |
| 0.18  | 5      | 1.08                        | 110                      |
| 0.216 | 6      | 1.30                        | 132                      |
| 0.252 | 7      | 1.51                        | 154                      |
| 0.288 | 8      | 1.73                        | 176                      |
| 0.324 | 9      | 1.94                        | 198                      |

**Selección del material de las mangas filtrantes.**

El material de las mangas debe ser capaz de tener una filtración de partículas de 0.3  $\mu\text{m}$  en adelante, de tal manera que se podría recolectar la mayor parte de polvo metálico generado por las fuentes.

Los filtros en la actualidad están compuestos por fibras químicas. La selección del tipo de fibra a utilizar viene condicionada por una serie de factores entre los que destacan: temperatura; composición química del gas; características físico-químicas de las partículas; humedad; resistencia mecánica; propiedades de filtración de las mangas; método de limpieza. En el **APÉNDICE J** se muestran las propiedades con carácter general de las principales fibras químicas para distintos filtros. Los fabricantes de mangas proporcionan, a su vez, diferentes acabados y tratamientos de las telas para mejorar la compatibilidad entre los filtros y los gases a depurar.

Las dimensiones típicas pueden ser de 0.15 - 0.3 m de diámetro y 6 -10 m de longitud, oscilando el número de mangas por compartimento entre 40-700. Generalmente las bolsas o mangas de filtro se utilizan en colectores pulse-jet, mientras que las mangas de filtro tejido se utilizan en filtros de aire reverso o de sacudido. [5]

La cantidad de mangas se puede calcular dividiendo el área de filtrado necesaria para el área unitaria de una manga. De acuerdo a los rangos dimensionales expuestos se escoge un diámetro de  $\varnothing = 0.20 \text{ m}$  y  $L = 4 \text{ m}$  de longitud, datos que servirá para calcular el área unitaria y el número de filtros con las ecuaciones 3.39 y 3.40.

$$A_{unitaria} = \pi \times \phi \times L \quad (3.39)$$

$$A_{unitaria} = \pi \times 0.20\text{m} \times 4\text{m} = 2.5\text{m}^2$$

$$N_{mangas} = \frac{A_{filtrado}}{A_{unitaria}} \quad (3.40)$$

$$N_{mangas} = \frac{345.2\text{m}^2}{2.5\text{m}^2} = 138$$

Se puede presentar entonces las especificaciones técnicas del Filtro de Mangas en la *Tabla 12*.

**TABLA 12**  
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL FILTRO DE MANGAS**

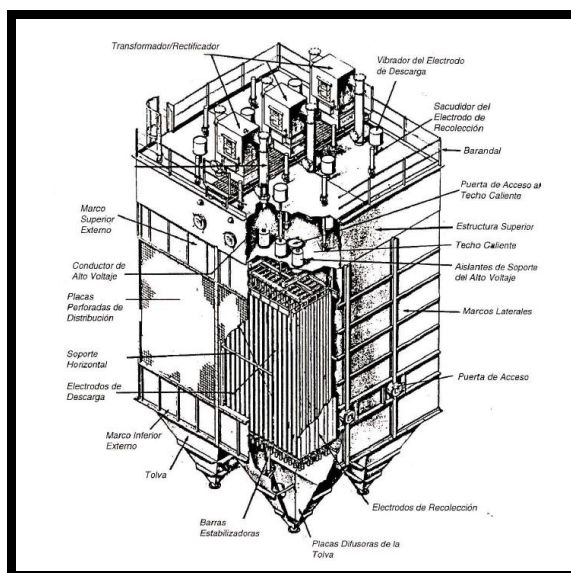
| PARÁMETROS             |                         |
|------------------------|-------------------------|
| Área de Filtrado       | 345.2 m <sup>2</sup>    |
| Longitud de Mangas     | 4 m                     |
| Número de cámaras      | 2                       |
| Número de mangas       | 138                     |
| Diámetro de las mangas | 0.20 m                  |
| Caudal del gas         | 50544 m <sup>3</sup> /h |
| Temperatura del gas    | < 125 °C                |
| Temperatura máxima     | 140 °C                  |
| Tiempo entre pulsos    | 3 min                   |
| Tipo de Fibra          | PTFE (Teflón)           |
| Vida útil              | 14 meses                |
| Sistema de Limpieza    | Pulse Jet               |
| Presión de Limpieza    | 80 Psi                  |

### 3.4 Cálculos para la Selección de los precipitadores electrostáticos.

Los principales elementos (*Ver Figura 3.10*) que integran un precipitador electrostático son:

1. *Zona de tratamiento*: electrodos de emisión, electrodos de precipitación y los sistemas complementarios entre los que se incluyen las conducciones de entrada y salida de gas, las placas perforadas para la distribución del gas, los dispositivos de limpieza del electrodo de precipitación, la tolva de recogida de partículas, sistema de purga de aire.
2. *Sistema de fuente eléctrica de alto voltaje*: transformador, rectificador y dispositivos de control.
3. *Estructura* (soportes, aisladores, marcos, carcaza) y elementos auxiliares como el ventilador y los dispositivos para el vaciado de la tolva.
4. El *sistema de electrodos de descarga* consiste en cables que cuelgan verticalmente, sostenidos en la parte superior, y tensionados por un peso en la parte inferior. Los electrodos de precipitación suelen estar formados por placas de 0.12 a 0.15 cm de espesor y de 6 a 12 m de altura, espaciadas entre sí de 10 a 40 cm. Para alcanzar eficacias elevadas (>99%), se

divide la zona de tratamiento mediante seccionalización en serie y en paralelo.

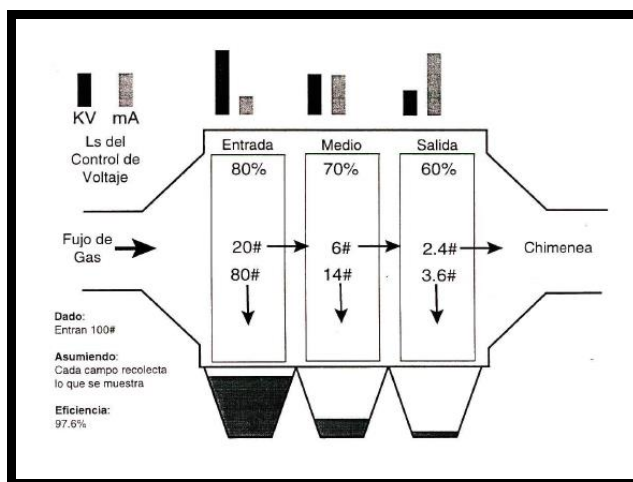


**FIGURA 3.10. PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO - ESQUEMA [5]**

*Seccionalización en serie:* El flujo de gas atraviesa consecutivamente secciones del equipo con distintas condiciones de voltaje. El número de secciones depende de las propiedades del gas y polvo que se recolecta. En cada sección se instala un sistema de alto voltaje con control independiente para ajustarlo a las condiciones del gas y del polvo en su interior. La concentración de masa de partículas es generalmente alta en la sección de entrada del precipitador. En las secciones siguientes la carga de polvo en el gas es menor y está formada por partículas de menor tamaño. En la



Figura 3.11 se puede ver cuánto polvo recolecta un precipitador típico en cada sección y las condiciones de voltaje y corriente.



**FIGURA 3.11. RECOLECCIÓN DE POLVO Y NIVELES DE VOLTAJE Y CORRIENTE [5]**

El voltaje es responsable de “empujar” las partículas hacia las placas. La corriente es responsable de mantenerlas allí. En la sección de entrada es necesario aplicar un voltaje elevado debido a la elevada carga de partículas. En la sección de salida, debido a la menor concentración y tamaño de las partículas se precisa un menor voltaje (para evitar chispeo) y un mayor nivel de corriente. La seccionalización en serie permite que el polvo reintroducido en una zona sea captado en las siguientes secciones, minimizando la reintroducción neta de polvo. [5]

Los precipitadores electrostáticos se diseñan y operan para alcanzar una elevada eficacia de recolección. Se han propuesto la ecuación 3.41 semi-empírica, basada en la ecuación de Deutsch.

[5]

$$\eta = 1 - \exp \left[ - \left( \omega \frac{A_{re}}{Q_{gas}} \right)^{K_z} \right] \quad (3.41)$$

Los valores típicos de SCA (Superficie Colectora Específica) están en el intervalo 40-160 m<sup>2</sup>/(Nm<sup>3</sup>/s) (200-800 ft<sup>2</sup>/1000scfm). La SCA se expresa en diferentes unidades.

Para seleccionar adecuadamente el precipitador electrostático se hará uso de la ecuación 3.41, para encontrar la eficacia de recolección. Si según la *Figura 3.12*, la superficie de recolección efectiva ( $A_{re}/Q_{gas}$ ) para un precipitador electrostático mediano es de 78.8 s/m.

| Unidades                                           | Pequeño | Mediano | Grande |
|----------------------------------------------------|---------|---------|--------|
| ft <sup>2</sup> /1000acfm = ft <sup>2</sup> /kacfm | 100     | 400     | 900    |
| s/m                                                | 19.7    | 78.8    | 177    |
| s/ft                                               | 6       | 24      | 54     |

**FIGURA 3.12. RECOLECCIÓN EFECTIVA DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO [5]**

Si el coeficiente de Corrección  $K_z$  está entre 0.4 y 0.6; se escoge el máximo valor de  $K_z = 0.6$ , así también en la *Figura 3.13* la velocidad

de migración de las partículas para Hierro/Acero con una eficacia del 99.5% es de 6.6 cm/s = 0.066 m/s.

$$\eta = 1 - \exp \left[ - \left( 0.066 \frac{m}{s} \times 78.8 \frac{s}{m} \right)^{0.6} \right]$$

$$\eta = 1 - \exp[-2.689]$$

$$\eta = 1 - 0.067 = 0.93 = \underline{\underline{93\%}}$$

| Aplicación                            |       | Velocidad de migración (cm/s) |      |      |      |
|---------------------------------------|-------|-------------------------------|------|------|------|
|                                       |       | Eficacia de diseño (%)        |      |      |      |
|                                       |       | 95                            | 99   | 99.5 | 99.9 |
| Cenizas volantes de carbón bituminoso | no CI | 12.6                          | 10.1 | 9.3  | 8.2  |
|                                       | CI    | 3.1                           | 2.5  | 2.4  | 2.1  |
| Otras cenizas volantes de carbón      | no CI | 9.7                           | 7.9  | 7.9  | 7.2  |
|                                       | CI    | 2.9                           | 2.2  | 2.1  | 1.9  |
| Papel Kraft. Caldera de recuperación  | no CI | 2.6                           | 2.5  | 3.1  | 2.9  |
| Cemento                               | no CI | 1.5                           | 1.5  | 1.8  | 1.8  |
|                                       | CI    | 0.6                           | 0.6  | 0.5  | 0.5  |
| Vidrio                                | no CI | 1.6                           | 1.6  | 1.5  | 1.5  |
|                                       | CI    | 0.5                           | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
| Hierro/acero                          | no CI | 6.8                           | 6.2  | 6.6  | 6.3  |
|                                       | CI    | 2.2                           | 1.8  | 1.8  | 1.7  |
| Ceniza volante de incinerador         | no CI | 15.3                          | 11.4 | 10.6 | 9.42 |
| Hornos de reverberación de cobre      | no CI | 6.2                           | 4.2  | 3.7  | 2.9  |

CI: corona invertida  
De EPA OAQPS Control Cost Manual, 1996.

**FIGURA 3.13. EFICACIA Y VELOCIDAD DE MIGRACIÓN [5]**

De tal manera que resolviendo la ecuación 3.41, se tendría una eficacia del **93%**, suficiente para este propósito.

### Caída de Presión

La caída de presión en un PES se debe a cuatro factores principales:

- ✓ Placa difusora (placa perforada a la entrada).

- ✓ Transiciones a la entrada y salida del PES.
- ✓ Deflectores en las placas de recolección (refuerzos) o corrugados.
- ✓ Resistencia de la placa plana de recolección contra el flujo de gas.

| Componente            | Caída de Presion Tipica<br>(in. H <sub>2</sub> O) |             |
|-----------------------|---------------------------------------------------|-------------|
|                       | Baja                                              | Alta        |
| Difusor               | 0.010                                             | 0.09        |
| Transicion de entrada | 0.07                                              | 0.14        |
| Transcion de salida   | 0.007                                             | 0.015       |
| Deflectores           | 0.0006                                            | 0.123       |
| Placas de coleccion   | 0.0003                                            | 0.008       |
| <b>Total</b>          | <b>0.09</b>                                       | <b>0.38</b> |

**FIGURA 3.14. COMPONENTES DE CAÍDA DE PRESIÓN PES**  
[19]

La caída de presión total es la suma de las caídas de presión individuales, pero cualquiera de estas fuentes puede dominar a todas las otras contribuciones de la caída de presión. Usualmente, la caída de presión no es un factor que rija al diseño, pero necesita mantenerse en un valor aceptablemente bajo. En la *Figura 3.14* se proporcionan las caídas de presión típicas para los cuatro factores. La caída de presión del PES, usualmente menos que cerca de 0.5 in. de H<sub>2</sub>O, es mucho más baja que para el sistema de recolección asociado y los conductos. [19]

Con las velocidades de transporte utilizadas para el polvo recolectado en los PESs, generalmente 4000 ft/min o mayores, las caídas de presión del sistema están usualmente en el rango de 2 a 10 pulg cdH<sub>2</sub>O, dependiendo de la longitud de los conductos y de la configuración, así como de los tipos de dispositivos de preacondicionamiento utilizados corriente arriba.

La *placa difusora* es utilizada para igualar el flujo del gas a lo ancho de la cara del PES. Consiste típicamente de una placa plana cubierta de hoyos redondos de 5 a 7 cm. de diámetro (2 a 2.5 pulg.), teniendo un área abierta de 50 a 65 % del total. La caída de presión depende fuertemente del por ciento de área abierta, pero es casi independiente del tamaño de los hoyos.

La caída de presión debida al *agrandamiento gradual en la entrada* es causada por los efectos combinados de la separación del flujo y la fricción en la pared y es dependiente de la forma del ensanchamiento. En la salida del PES, la caída de presión causada por una contracción gradual, corta, bien dirigida, es pequeña.

Los *deflectores* están instalados sobre las placas de recolección para escudar al polvo recolectado del flujo del gas y proporcionar un

efecto reforzador para mantener las placas alineadas paralelas una a la otra. La caída de presión debida a los deflectores depende del número de deflectores, de su protuberancia en la corriente del gas con respecto a la distancia electrodo-aplaca y a la velocidad del gas en el PES.

La caída de presión de las *placas planas de recolección* es debida a la fricción del gas arrastrándose a lo largo de las superficies planas y es tan pequeña comparada con otros factores que usualmente puede ser despreciada en problemas de ingeniería. [19]

Entonces se considera que el PES tendrá una caída de Presión, según la *Figura 3.13*

$$\Delta P = \underline{\underline{0.38 \text{ inH}_2\text{O} (9.64 \text{ mmH}_2\text{O})}}$$

### 3.5 Cálculos para la Selección del Ventilador.

Para determinar el tipo de ventiladores que cumplan las necesidades del sistema, se hace un análisis de sus características, luego se selecciona a partir de catálogos técnicos el tipo o modelo que mejor cumpla con los requerimientos. Las características del sistema son las que se detallan a continuación.

**Caudal de Sistema:**

$$Q_{\text{ramal1}} = 5760 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (Procesos de Soldadura)}$$

$$Q_{\text{ramal2}} = 44784 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (Procesos de Corte)}$$

$$Q_{\text{sistema}} = Q_{\text{ramal1}} + Q_{\text{ramal2}}$$

$$Q_{\text{sistema}} = 5760 \text{ m}^3/\text{h} + 44784 \text{ m}^3/\text{h} = \underline{\underline{50544 \text{ m}^3/\text{h}}}$$

**Presión Estática o Cabezal Estático del Sistema:**

Se hace el cálculo para el Ramal 1, con la ecuación 3.42.

$$SP_{\text{ramal1}} = SP_{\text{DUCTOSramal1}} \quad (3.42)$$

$$SP_{\text{ramal1}} = \underline{\underline{532.62 \text{ mm c.d. } H_2O}} \text{ (5223 Pa)}$$

De igual manera, se hace el cálculo para el Ramal 2, con las ecuaciones 3.43 y 3.43.

$$SP_{\text{ramal2}} = SP_{\text{DUCTOSramal2}} + SP_{\text{FILTROSramal2}} + SP_{\text{CHIMENEAramal2}} \quad (3.43)$$

$$SP_{\text{ramal2}} = 188.52 \text{ mm c.d. } H_2O + SP_{\text{FILTROSramal2}} + 89 \text{ mm c.d. } H_2O$$

$$SP_{\text{FILTROSramal2}} = SP_{\text{VENTURI}} + SP_{\text{CICLON}} + SP_{\text{FMANGAS}} + SP_{\text{ELECTROSTATICO}} \quad (3.44)$$

$$SP_{\text{FILTROSramal2}} = (196.4 + 9.67 + 198 + 9.64) \text{ mm c.d. } H_2O$$

$$SP_{\text{FILTROSramal2}} = 413.71 \text{ mm c.d. } H_2O$$

$$SP_{\text{ramal2}} = (188.52 + 413.71 + 89) \text{ mm c.d. } H_2O$$

$$SP_{\text{ramal2}} = \underline{\underline{691.23 \text{ mm c.d. } H_2O}} \text{ (6778.5 Pa)}$$

Para las pérdidas del Sistema, se usa la ecuación 3.45.

$$SP_{sistema} = SP_{ramal1} + SP_{ramal2} \quad (3.45)$$

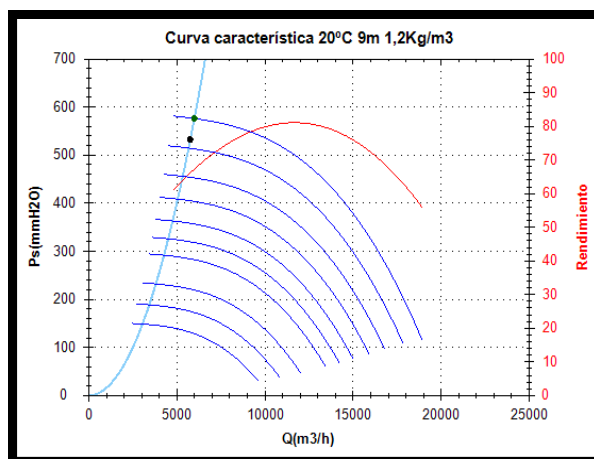
$$SP_{sistema} = 532.62 \text{ mmc.d.H}_2\text{O} + 691.23 \text{ mmc.d.H}_2\text{O}$$

$$SP_{sistema} = \underline{\underline{1223.85 \text{ mmc.d.H}_2\text{O}}}$$

**Temperatura máxima de Operación: 120° C.**

Para el Ramal 1,  $SP_{ramal1} = \underline{\underline{532.62 \text{ mmc.d.H}_2\text{O} (5223 \text{ Pa})}}$  con caudal

$Q_{ramal1} = 5760 \text{ m}^3/\text{h}$ , se selecciona el ventilador **MZRU 560 3150RPM Casals Ventilación S.L.** cuya curva característica y puntos de diseño y servicio se muestran la *Figura 3.15* y *Tabla 13*, respectivamente, los demás datos técnicos se muestran en el **APÉNDICE K.**

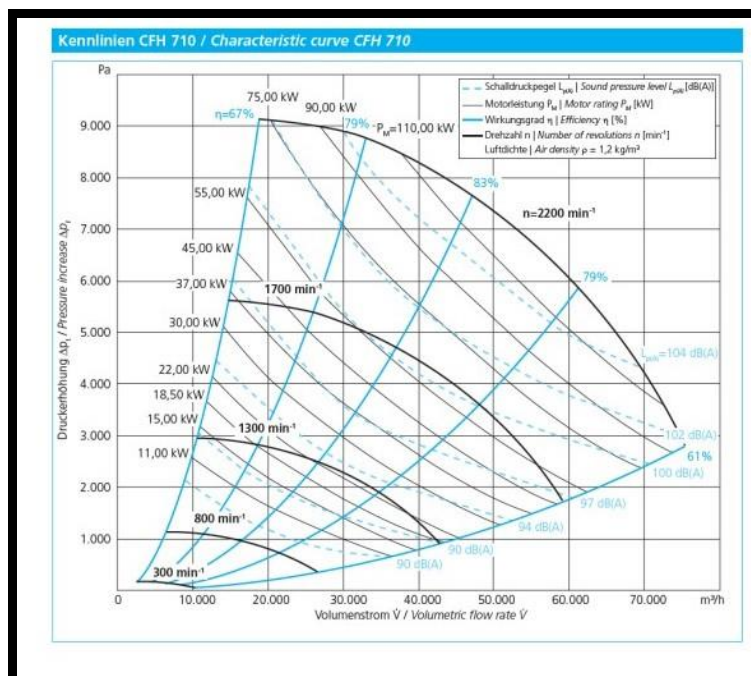


**FIGURA 3.15. CURVA CARACTERÍSTICA DE VENTILADOR 1.**



**TABLA 13**  
**PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO VENTILADOR 1**

| PUNTO DE DISEÑO         |         |
|-------------------------|---------|
| Q (m³/h)                | 5760    |
| Ps (mmH <sub>2</sub> O) | 532.62  |
| PUNTO DE SERVICIO       |         |
| Turbina rpm             | 3150    |
| Temp. máxima (°C)       | 300     |
| Q (m³/h)                | 5990.78 |
| Ps (mmH <sub>2</sub> O) | 576.16  |
| Pd (mmH <sub>2</sub> O) | 8.77    |
| Pt (mmH <sub>2</sub> O) | 584.93  |
| Vel. imp. (m/s)         | 11.98   |
| Rend. (%)               | 67.31   |
| Pot. Absorbida(KW)      | 14.20   |
| Pot. Recom. (KW)        | 18.50   |

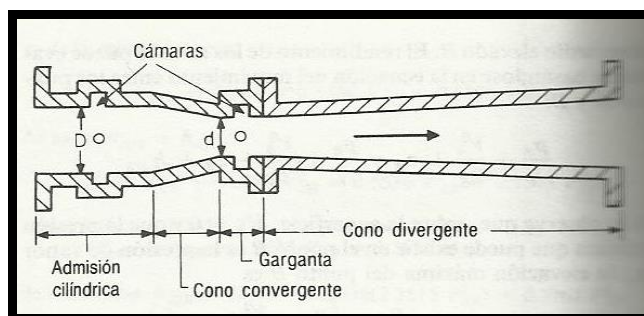


**FIGURA 3.16. CURVA CARACTERÍSTICA DE VENTILADOR 2.**

Para el Ramal 2,  $SP_{ramal2} = 6778.5Pa$  con caudal  $Q_{ramal2} = 50544$   $m^3/h$ , se selecciona el ventilador **Kenlinien CFH 710 Elektror** cuya curva característica se muestran la *Figura 3.16* (90 KW, 2200rpm, eficiencia = 81%), los demás datos técnicos se muestran en el **APÉNDICE K**.

### 3.6 Diseño y Cálculo del Lavador Venturi.

Este diseño se encuentra totalmente estandarizado siendo la relación entre la sección a la entrada y en el estrechamiento de 4:1 y el ángulo de divergencia de 5 a 7 grados para una adecuada recuperación de la presión estática. (Ver *Figura 3.17*).



**FIGURA 3.17. LAVADOR VENTURI [10].**

En el diseño estándar se utiliza flujo vertical del gas a través del venturi con la sección de entrada mojada para evitar que el polvo se acumule en la interfase seco-mojado. La garganta ajustable mediante control (manual o automático) del venturi para mantener

constante la pérdida de carga, y por tanto, la eficacia, aunque varíe el caudal de gas. La garganta se recubre con un esmalte refractario para resistir mejor la abrasión. El codo anegado de agua colocado debajo del venturi y antes del separador de gotas para reducir el desgaste por partículas abrasivas.

La pérdida de presión en los lavadores Venturi es muy superior a la de otro tipo de equipos de depuración. Se han desarrollado diferentes ecuaciones para la determinación de la pérdida de presión en estos equipos. Calvert propuso un método, basado en la suposición de que toda la energía que pierde la corriente de gas en la garganta del venturi se utiliza para acelerar las gotas del líquido hasta la velocidad del gas. Planteando un balance de fuerzas y asumiendo las siguientes simplificaciones:

1. La velocidad del gas es constante e igual a la de la garganta.
2. El flujo es unidimensional, incompresible y adiabático.
3. La fracción de líquido es pequeña en cualquier sección transversal.
4. La evaporación de gotas es despreciable, por lo que el diámetro de las gotas permanece constante.

5. Las fuerzas de presión sobre las gotas son simétricas y se compensan.

Para calcular la pérdida de presión se usará las ecuaciones 3.46, 3.47 y 3.48.

$$\Delta P = 1.013 \times 10^{-3} \times V_g^2 \left( \frac{Q_L}{Q_G} \right) \quad (3.46)$$

$$Q_G = CEY_e A_d \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_g}} \quad (3.47)$$

$$\Delta P = \left( \frac{Q_G}{CEY_e A_d} \right)^2 \times \frac{\rho_g}{2}$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \quad (3.48)$$

Si se tiene que  $D=0.8\text{m}$ (31 pulg) (Diámetro de la Tubería);  $d=0.4\text{m}$  (Diámetro de la contracción);  $\beta=0.4/0.8=0.5$ ; de la Tabla 3.3.12 del

**APÉNDICE L**, se tiene que  $C=0.985$ ;  $E = \frac{1}{\sqrt{1-0.5^4}} = 1.033$ ;  $Y=0.6872$ , considerando de la Tabla 3.3.13 del **APÉNDICE L**, como  $r = 0.5721$ ;  $k = 1.20$ , para fluidos compresibles.

El Área  $A_d = \pi d^2/4 = \pi \times 0.4^2 = 0.5027\text{m}^2$  y teniendo en cuenta que en la garganta hay un rango de velocidades de 50 – 180 m/s [5] y para

partículas de 1 – 5  $\mu\text{m}$  también existe un rango de pérdidas de presión de 7 – 25 KPa. [5] se resuelve las ecuaciones 3.46, 3.47 y 3.48.

$$\Delta P = \left( \frac{12.44 \text{ m}^3 / \text{s}}{0.985 \times 1.033 \times 0.6872 \times 0.314} \right)^2 \times \frac{1.2 \text{ Kg} / \text{m}^3}{2}$$

$$\Delta P = \underline{\underline{1926.16 \text{ Pa} = 19.64 \text{ cmc.d.H}_2\text{O}}}$$

$$19.64 \text{ cmc.d.H}_2\text{O} = 1.013 \times 10^{-3} \times (18000 \text{ cm} / \text{s})^2 \left( \frac{Q_L}{Q_G} \right)$$

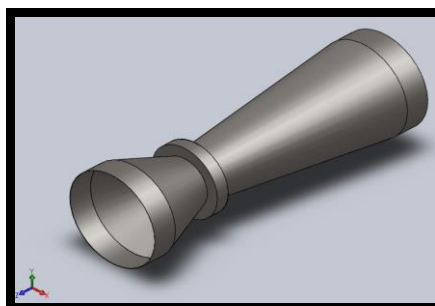
$$5.98 \times 10^{-5} = \frac{Q_L}{12.44 \text{ m}^3 / \text{s}}$$

$$Q_L = \underline{\underline{7.44 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}}}$$

$$Q_L = 7.44 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = \underline{\underline{0.72 \text{ l} / \text{s}}}$$

$$Q_L = 0.72 \text{ l} / \text{s} \times \frac{1 \text{ gal}}{3.78 \text{ l}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = \underline{\underline{12 \text{ GPM}}}$$

Se utilizará entonces para el Sistema de inyección de agua una tubería de 1/2 pulg. de diámetro nominal y una bomba de 0.5 HP. El diseño del venturi se muestra en el **Plano 7** del **APÉNDICE A** y en la *Figura 3.18*.



**FIGURA 3.18. LAVADOR VENTURI DISEÑADO.**

### 3.7 Diseño y Cálculo de la Chimenea.

Las chimeneas pueden proporcionar una dispersión atmosférica eficaz de los contaminantes gaseosos y en partículas con concentraciones aceptables a nivel del suelo. Se cuenta con fórmulas teóricas y empíricas para estimar la dispersión de los contaminantes transportados por el aire y que emiten las chimeneas en forma continua. La altura efectiva de una chimenea de un penacho se expresa por la ecuación 3.49.

$$H = h_s + h_r \quad \textbf{(3.49) [20]}$$

La fórmula de Holland (ecuación 3.50), recomendada para calcular  $h_r$  es:

$$h_r = \frac{1.5v_s \times d_{ch} + 4.09 \times 10^{-5} \times Q_h}{v_v} \quad \textbf{(3.50)}$$

Para este caso se obviará el cálculo de  $h_r$ . Por lo común se usa una relación de la altura  $h_s$ , de la chimenea a la altura del edificio de **1.5 a 2**, o más, para evitar que el penacho quede atrapado en el remolino producido por los edificios adyacentes con los altos valores asociados de la concentración al nivel del suelo,  $X_g$ . La velocidad de salida de la chimenea,  $v_s$ , debe ser de **14 a 28 m/s**, para minimizar que el penacho sea atrapado en los vórtices de la propia chimenea. [20].

Considerando que la altura de la nave industrial es de **12.500 mm** y en base a la relación de alturas recomendada para la chimenea se calcula la altura efectiva de la chimenea para que los gases no desciendan rápidamente y retornen a la nave:

$$h_s = 12500 \times 1.5 = 18750 \text{ mm} = 18.75 \text{ m}$$

$$Q_{\text{sistema}} = Q_{\text{ramal1}} + Q_{\text{ramal2}}$$

$$Q_{\text{sistema}} = 5760 \text{ m}^3/\text{h} + 44784 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{50544 \text{ m}^3/\text{h}}.$$

$$\text{Velocidad del Viento } v_v : 6 - 7.3 \text{ m/s}$$

Se considera Velocidad del Viento  $v_v$  Extrema: 25 m/s

Para calcular el diámetro (usando las ecuaciones 3.51 y 3.52) de la chimenea se debe considerar el flujo máximo que evacuan los ventiladores.

$$A = \frac{Q_{\text{sistema}}}{3600 v_v} \quad \mathbf{(3.51)}$$

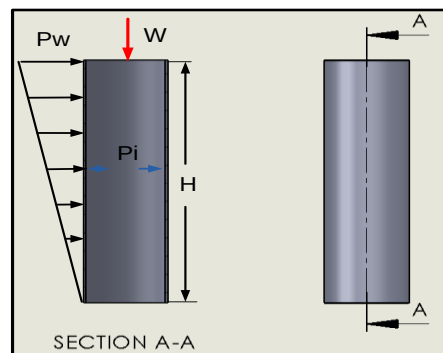
$$A = \frac{50544 \text{ m}^3 / \text{h}}{3600 \times 25 \text{ m/s}} = 0.562 \text{ m}^2$$

$$d_{\text{ducto}} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad \mathbf{(3.52)}$$

$$d_{\text{ducto}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.562 \text{ m}^2}{\pi}} = \underline{\underline{0.85 \text{ m}}}$$

### Espesor requerido para la chimenea

Para determinar el espesor requerido para la construcción de la chimenea se hace un análisis de las cargas que soporta la chimenea. Las cargas a las que está sometida la chimenea son: el peso propio del material que la conforma, la presión interna de los gases y la presión externa del viento. (Ver *Figura 3.19*)



**FIGURA 3.19. CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE LA CHIMENEA**

Primero se asume un espesor de  $e=1/8''=3.175$  mm, entonces El peso  $W$  (con ecuaciones 3.53 y 3.54) de la Chimenea sería:

$$W = Ah_s \rho \quad (3.53)$$

$$A = \pi \frac{(D_o^2 - D_i^2)}{4} \quad (3.54)$$

$$h_s = 18.75m; \quad \rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$$



$$D_o = D_i + 2e = 0.85 + 2(3.175 \times 10^{-3})$$

$$D_o = 0.8564m$$

$$W = \left\{ \pi \left[ \frac{(0.8564m)^2 - (0.85m)^2}{4} \right] \right\} \times 18.5m \times 7850 \frac{Kg}{m^3}$$

$$W = \underline{\underline{1.25KN}} \text{ (282 Lbf)}$$

La presión exterior del viento sobre la chimenea depende de la velocidad del viento en la zona donde se instala la chimenea. Los cálculos se realizan considerando las normas ASME. Para calcular la presión del viento se utiliza la ecuación 3.55.

$$P_w = q_s \times C_e \times C_q \text{ (3.55) [20]}$$

Se considerará la velocidad promedio del viento de 25 m/s, en 70 mph (31 m/s), para utilizar las variables que se detallan en el **APÉNDICE M**, con lo cual se tendría.

$$q_s = \frac{13lbf}{pie^2} = 622Pa \text{ [20]}$$

Además se obtienen los siguientes factores basados en las características de la chimenea como altura, ubicación geográfica y forma:  $C_e = 1.6$   $C_q = 0.8$ . **[20]**

Por lo tanto resolviendo la ecuación 3.55 se tiene la presión debida al viento.

$$P_w = \frac{13lbf}{pie^2} \times 1.6 \times 0.8$$

$$P_w = 16.64 \frac{\text{lb}f}{\text{pie}^2} = 796.73 \text{Pa}$$

La fuerza (ecuación 3.56) debida a la presión del viento es:

$$V = P_w \times \pi \times D_o \times h_s \quad (3.56)$$

$$V = 16.64 \frac{\text{lb}f}{\text{pie}^2} \times \pi \times 0.8564 \text{m} \times \frac{1 \text{pie}}{0.305 \text{m}} \times 18.75 \text{m} \times \frac{1 \text{pie}}{0.305 \text{m}}$$

$$V = 9024 \text{lb}f = 40.14 \text{N}$$

El momento (ecuación 3.57) que se genera en la base de la chimenea sería:

$$M = V \times \frac{h_s}{2} \quad (3.57)$$

$$M = 40.14 \text{N} \times \frac{18.75 \text{m}}{2}$$

$$M = 376 \text{N.m} (3334 \text{Lb.pu} \cdot \text{lg})$$

El espesor requerido por efecto de estas cargas se calcula con las ecuaciones 3.58 y 3.59. De tal manera que  $S = 36 \text{ Ksi} \approx 36000 \text{ psi}$ ;  $E=0.85$  (Tubería soldada por Resistencia eléctrica) de la Norma ASME B 31.3 – 2002 Process Piping.

$$t = \frac{12M}{R^2 \times \pi \times S \times E} + \frac{W}{D \times \pi \times S \times E} \quad (3.58)$$

$$R = \frac{D_i}{2} \quad (3.59)$$

$$R = 0.85m / 2 = \underline{0.425m}$$

$$R = 0.425m \times \frac{1 \text{ pu lg}}{0.0254m} = 16.73 \text{ pu lg}$$

$$t = \frac{12 \times 3334 \text{ Lbf} \cdot \text{pu lg}}{(16.73 \text{ pu lg})^2 \times \pi \times 36000 \text{ lbf} / \text{pu lg}^2 \times 0.85} + \frac{282 \text{ Lbf}}{0.8564 \times \pi \times 36000 \text{ lbf} / \text{pu lg}^2 \times 0.85}$$

$$t = 1.49 \times 10^{-3} + 3.43 \times 10^{-3} = 4.92 \times 10^{-3} \text{ pu lg} (0.13 \text{ mm})$$

El espesor requerido por efecto de la presión interna se debe evaluar considerando las resistencias de las costuras longitudinal y circunferencial. De los dos espesores calculados se considera el mayor.

El Espesor requerido considerando la resistencia de la costura longitudinal (ecuación 3.60).

$$t = \frac{P_i R}{SE - 0.6 P_i} \quad (3.60)$$

La presión interna es  $P_i = 14.7 \text{ psi}$

$$t = \frac{14.7 \text{ psi} \times 16.73 \text{ pu lg}}{36000 \text{ psi} \times 0.85 - 0.6 \times 14.7 \text{ psi}}$$

$$t = 8.04 \times 10^{-3} \text{ pu lg} = 0.204 \text{ mm}$$

Espesor requerido considerando la resistencia de la costura circunferencial (ecuación 3.61).

$$t = \frac{PiR}{2SE + 0.4Pi} \quad (3.61)$$

$$t = \frac{14.7 \text{ psi} \times 16.73 \text{ pu lg}}{2 \times 36000 \text{ psi} \times 0.85 + 0.4 \times 14.7 \text{ psi}}$$

$$t = 4.02 \times 10^{-3} \text{ pu lg} (0.10 \text{ mm})$$

También se debe tener en cuenta la pérdida de espesor debido a la corrosión. Por lo tanto, de acuerdo a las recomendaciones de las normas ASME, se considera un desgaste de 5mpy (milésimas de pulgada por año) y si se establece una vida útil de 15 años se obtiene el siguiente valor:

$$t = 0.005 \frac{\text{pu lg}}{\text{año}} \times 15 \text{ años} = 0.075 \text{ pu lg} (1.9 \text{ mm})$$

Por lo tanto el espesor de plancha requerido para la construcción de la chimenea será la suma de los espesores calculados para cada requerimiento de carga y de corrosión:

$$t = 8.04 \times 10^{-3} \text{ pu lg} + 4.02 \times 10^{-3} \text{ pu lg} + 0.075 \text{ pu lg} = 0.087 \text{ pu lg} (2.21 \text{ mm})$$

Se escoge entonces un espesor de plancha de **3 mm**.

### Caída de presión en la chimenea

Se producen pérdidas debido a la longitud de la chimenea y debido a la entrada a 90° del ducto hacia la chimenea. Con los siguientes valores se procede a calcular ambas pérdidas:  $h_s = 18.75m$ ;

$$\phi = 0.85m ; v = 25m/s ; Q = 50544m^3/h$$

$$VP = \left[ \frac{V}{4.033} \right]^2 \quad [14]$$

$$VP = \left[ \frac{25m/s}{4.033} \right]^2 = \underline{\underline{38.42mmcdH_2O}}$$

De la tabla de factores para pérdidas en ductos (Ver **APÉNDICE I**) se tiene el siguiente valor:

$$h_L = 0.65mmcdH_2O \times 18.75 = 12.19mmcdH_2O$$

Las pérdidas por entrada de ducto a 90° se las obtiene a partir de tablas que se indican en el **APÉNDICE I**.

$$h_{90} = 1 \times VP$$

$$h_{90} = 38.42mmcdH_2O$$

Pérdidas totales (ecuación 3.62) en la chimenea.

$$h_T = h_L + h_{90} \quad (3.62)$$

$$h_T = 12.19mmcdH_2O + 38.42mmcdH_2O$$

$$h_T = \underline{\underline{50.61mmcdH_2O}}$$

Caída de presión (ecuación 3.63) debido a la chimenea.

$$SP = VP + h_T \quad \mathbf{(3.63)}$$

$$SP = 38.42mm\,cdH_2O + 50.61mm\,cdH_2O = \underline{\underline{89mm\,cdH_2O}}$$

# CAPÍTULO 4

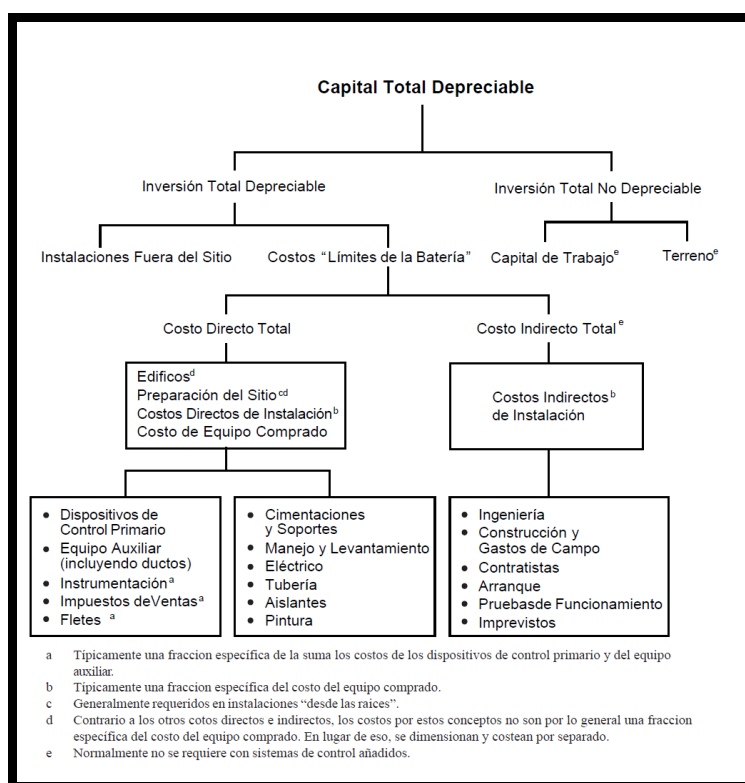
## 4. ANÁLISIS DE COSTOS.

Los costos y su metodología de estimación tienen un rango de  $\pm 30\%$  de exactitud. Un estudio económico sirve para estimar la factibilidad económica de un proyecto, antes de invertir suficientes fondos para pruebas piloto, estudios de mercado, levantamiento de planos topográficos y adquisiciones, puede ser preparado con un mínimo de datos y costos relativamente bajos. [15]

Específicamente debe conocerse lo siguiente:

- ☞ Localización de la fuente dentro de la planta.
- ☞ Un bosquejo del diagrama de flujo del proceso y la localización relativa de los equipos en el sistema.
- ☞ Especificaciones preliminares de materiales y dimensiones de los componentes y equipos del sistema.

- ☞ Tamaño aproximado y tipos de construcción de cualquier edificio requerido para albergar el sistema de control.
- ☞ Estimación burda de las necesidades de servicios (electricidad, mantenimiento).
- ☞ Diagrama de flujo y especificaciones preliminares de los conductos (tuberías) y accesorios.
- ☞ Tamaño aproximado de los motores requeridos.
- ☞ Adicionalmente, se necesita una estimación de las horas de trabajo de ingeniería. [19]

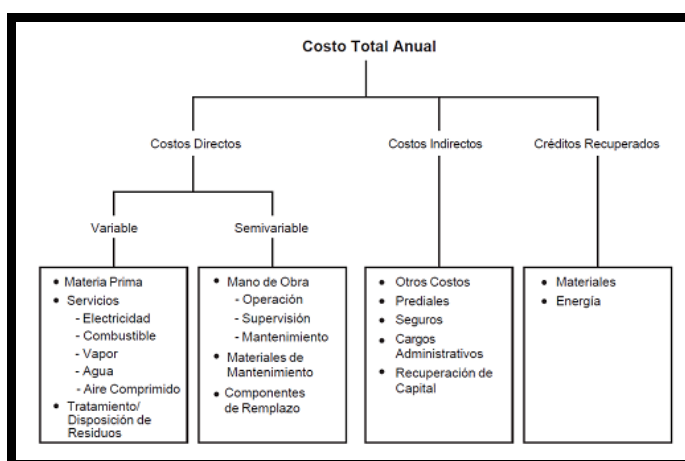


**FIGURA 4.1. ELEMENTOS DE INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL [19].**



La inversión de capital total incluye todos los costos que se requieren para la compra de los equipos necesarios para el sistema, costos de mano de obra, materiales para la instalación de dichos equipos, costos para la preparación del sitio, y costos indirectos de instalación. (Ver *Figura 4.1*).

Los *costos directos* de instalación incluyen los costos de la cimentación, estructuras, levantamiento y manejo del equipo, trabajo eléctrico, tuberías, aislantes y pintura. Los *costos indirectos* de instalación, incluyen costos tales como los de ingeniería; construcción y gastos de campo, honorarios de los contratistas; costos de las pruebas de funcionamiento y arranque e imprevistos (Ver *Figura 4.2*).



**FIGURA 4.2. ELEMENTOS DE INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL ANUAL [19].**

El costo anual (CA) se compone de dos elementos: Los Costos Directos (CD), Costos Indirectos (CI), los cuales se relacionan con la ecuación 4.1.

$$CA = CD + CI \quad (4.1)$$

### Costos de las Campanas de Extracción.

| Tipo de Campana                  | Material de Fabricación | Parámetro de la Ecuación |       | Rango de la Ecuación ( $A_r$ ft <sup>2</sup> ) |
|----------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------|------------------------------------------------|
|                                  |                         | a                        | b     |                                                |
| Toldo-circular                   | FRP <sup>1</sup>        | 128                      | 0.577 | 2-200                                          |
| Toldo-rectangular                | FRP                     | 306                      | 0.506 | 2-200                                          |
| Empuje-jale ( <i>push-pull</i> ) | FRP                     | 620                      | 0.321 | 2-200                                          |
| Succión lateral                  | FRP                     | 497                      | 0.336 | 2-200                                          |
| Succión Transera (Ranurada)      | PVC <sup>2</sup>        | 307                      | 1.43  | 0.6-2.0 <sup>3</sup>                           |
| Succión Transera (Ranurada)      | PVC <sup>4</sup>        | 797                      | 0.504 | 1.1-2.1                                        |
| Succión Transera (Ranurada)      | PP <sup>5</sup>         | 653                      | 0.717 | 1.1-2.1                                        |
| Succión Transera (Ranurada)      | FRP                     | 956                      | 0.519 | 1.1-2.1                                        |
| Succión Transera (Ranurada)      | Acero galvanizado       | 688                      | 0.687 | 0.5-1.3                                        |

<sup>1</sup> Plástico reforzado con fibra de vidrio  
<sup>2</sup> Cloruro de polivinilo  
<sup>3</sup> Para cada campana ranurada, "el rango de la ecuación" denota el rango en el área de las aberturas de la ranura, la cual es mucho menor que el área total de la cara de la campana  
<sup>4</sup> Cada campana está equipada con compuertas manuales de las ranuras y cuatro hileras de ranuras.  
<sup>5</sup> Polipropileno

**FIGURA 4.3. PARÁMETROS PARA COSTO DE LA CAMPANA [19].**

Para estimar estos costos se usará la ecuación 4.2 y los parámetros de la *Figura 4.3*. Para la Campana del ramal 2 se escoge succión lateral y para las campanas del ramal 1 toldo circular, de tal manera que con los parámetros escogidos para resolver la ecuación 4.2, los resultados se muestran en la Tabla N 4.1 del **APÉNDICE N**.

$$C_h = aA_f^b \quad (4.2)$$

### Costos de Sistemas de ductos.

Para estimar los costos se usará la ecuación 4.3 y los parámetros de la *Figura 4.4*. De manera que escogiendo los parámetros para una tubería de acero galvanizado circular longitudinal y resolviendo dicha ecuación, se presenta los resultados en la Tabla N 4.1 del **APÉNDICE N**.

$$C_d = aD_c^b \quad (4.3)$$

| Tipo de Conducto                   | Material del Aislante      | Espesor Aislante (in.) | Tipo de Ecuación | Parámetro de Ecuación<br>$\frac{a}{b}$ |       | Rango de la Ecuación (D, in.) |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------|----------------------------------------|-------|-------------------------------|
| Circular-espiral <sup>1</sup>      | Sheet-gal CS <sup>2</sup>  | Ninguno                | Función Potencia | 0.322                                  | 1.22  | 3-84                          |
| Circular-espiral                   | Sheet-304 SS <sup>3</sup>  | Ninguno                | Función Potencia | 1.56                                   | 1.00  | 3-84                          |
| Circular-espiral                   | Sheet-galv CS              | 1                      | Función Potencia | 1.55                                   | 0.936 | 3-82                          |
| Circular-espiral                   | Sheet-galv CS              | 3                      | Función Potencia | 2.56                                   | 0.937 | 3-82                          |
| Circular-longitudinal <sup>4</sup> | Sheet-galv CS              | Ninguno                | Función Potencia | 2.03                                   | 0.784 | 6-84                          |
| Circular-longitudinal              | Sheet-304 SS               | Ninguno                | Función Potencia | 2.98                                   | 0.930 | 6-84                          |
| Circular-longitudinal              | Plate-coat CS <sup>5</sup> | Ninguno                | Función Potencia | 2.49                                   | 1.15  | 6-84                          |
| Circular-longitudinal              | Plate-304 SS <sup>6</sup>  | Ninguno                | Función Potencia | 6.29                                   | 1.23  | 6-84                          |
| Cuadrado                           | Sheet-alum CS <sup>7</sup> | Ninguno                | Lineal           | 0.254                                  | 2.21  | 18-48                         |
| Cuadrado                           | Sheet-alum CS              | 4                      | Lineal           | 21.1                                   | 5.81  | 18-48                         |

<sup>1</sup> Conducto circular unido en espiral y soldado  
<sup>2</sup> Hoja de acero al carbón galvanizado  
<sup>3</sup> Hoja de acero inoxidable 304  
<sup>4</sup> Conducto circular soldado a lo largo de la costura longitudinal  
<sup>5</sup> Placa de acero al carbón con una capa de "shop paint" (pintura de taller)  
<sup>6</sup> Placa de acero al carbón 304  
<sup>7</sup> Hoja de acero al carbón aluminizado

**FIGURA 4.4. PARÁMETROS PARA COSTO DE CONDUCTO RECTO [19].**

### Costos de Codos y Válvulas.

Para estimarlos se usará la ecuación 4.4 y los parámetros de la *Figura 4.5*. De manera que escogiendo para codos y válvulas mariposa de acero galvanizado y resolviendo la ecuación 4.4, se presenta los resultados en la Tabla N 4.1 del **APÉNDICE N**.

$$C_d = ae^{bD_c} \quad (4.4)$$

| Accesorio de la Instalación de Conductos        | Material             | Tipo de Ecuación | Parámetro de la Ecuación |        | Rango de la Ecuación (D, in.) |
|-------------------------------------------------|----------------------|------------------|--------------------------|--------|-------------------------------|
|                                                 |                      |                  | a                        | b      |                               |
| Codos <sup>1</sup>                              | AC galv <sup>2</sup> | Exponencial      | 30.4                     | 0.0594 | 6-84                          |
| Codos                                           | Al 304               | Exponencial      | 74.2                     | 0.0668 | 6-60                          |
| Codos-aislados <sup>3</sup>                     | AC galv              | Exponencial      | 53.4                     | 0.0633 | 3-78                          |
| Codos-mariposa <sup>4</sup>                     | AC galv              | Exponencial      | 23.0                     | 0.0567 | 4-40                          |
| Compuertas-mariposa/aisladas <sup>5</sup>       | AC galv              | Exponencial      | 45.5                     | 0.0597 | 4-40                          |
| Compuertas-persianas                            | AC alum <sup>7</sup> | Función          | 78.4                     | 0.860  | 18-48                         |
| Compuertas-persianas c/ actuadores <sup>8</sup> | AC alum              | Potencia         | 208.                     | 0.791  | 18-48                         |
| Compuertas de guillotina                        | Acero al Carbón      | Función          | 17.2                     | 0.825  | 3-18                          |

<sup>1</sup> Codos de 90° de una sola pared, "armados", sin aislante  
<sup>2</sup> Hoja de acero al carbón galvanizado  
<sup>3</sup> Codos de 90° de pared doble, armados, con 1 pulgada de aislante de fibra de vidrio  
<sup>4</sup> Compuerta de mariposa manual de una sola pared del tipo "opposed blade" ("cuchilla opuesta")  
<sup>5</sup> Compuerta de mariposa manual de pared doble de "cuchilla opuesta", con 1 pulgada de aislante de fibra de vidrio  
<sup>6</sup> Compuertas de persianas selladas el 95-98%  
<sup>7</sup> Hoja de acero al carbón "aluminizada"  
<sup>8</sup> Compuertas de persianas con actuadores eléctricos (controles automáticos).

**FIGURA 4.5. PARÁMETROS PARA COSTO DE CODOS Y VÁLVULAS ACERO [19].**

| Material                            | Parámetros de la Ecuación <sup>1</sup> |       | Rango de la Ecuación             |                                  |
|-------------------------------------|----------------------------------------|-------|----------------------------------|----------------------------------|
|                                     | a                                      | b     | D <sub>s</sub> (in) <sup>2</sup> | H <sub>s</sub> (ft) <sup>3</sup> |
| PVC <sup>4</sup>                    | 0.393                                  | 1.61  | 12-36                            | ≤10                              |
| Placa de AC recubierta <sup>5</sup> | 3.74                                   | 1.16  | 6-84                             | 20-100                           |
| Placa Al 304 <sup>6</sup>           | 12.0                                   | 1.20  | 6-84                             | 20-100                           |
| Hoja AC galvanizada <sup>7</sup>    | 2.41                                   | 1.15  | 8-36                             | ≤75                              |
| Hoja Al 304 <sup>8</sup>            | 4.90                                   | 1.18  | 8-36                             | ≤75                              |
| Hoja AC aislada/DP <sup>9</sup>     | 143.                                   | 0.402 | 18-48                            | ≤15                              |
| Hoja AC no aislada/DP <sup>10</sup> | 10.0                                   | 1.03  | 18-48                            | ≤15                              |
| Hoja AC aislada/DP <sup>11</sup>    | 142.                                   | 0.794 | 24-48                            | 30-75                            |

<sup>1</sup> Todos los costos son funciones potencia. (Vea la Ecuación 2.44) Excepto donde se indique, los costos se expresan en términos de \$/ft de altura de chimenea.  
<sup>2</sup> Rango de diámetro de chimenea al cual se aplica cada ecuación.  
<sup>3</sup> Rango de altura de chimenea al cual se aplica cada ecuación.  
<sup>4</sup> Cloruro de polivinilo.  
<sup>5</sup> Placa de acero al carbón con una cubierta de "shop paint" ("pintura de taller")  
<sup>6</sup> Placa de acero inoxidable 304.  
<sup>7</sup> Hoja de acero al carbón, galvanizada.  
<sup>8</sup> Hoja de acero inoxidable 304.  
<sup>9</sup> Hoja de acero al carbón aluminizado cubierta con 4 pulgadas de aislante de fibra de vidrio (construcción de doble pared).  
<sup>10</sup> Hoja de acero al carbón aluminizada no aislada (construcción de doble pared).  
<sup>11</sup> Los costos para estas chimeneas se expresan en \$, y se correlacionan con el área superficial de la chimenea (S<sub>p</sub>, ft<sup>2</sup>).

**FIGURA 4.6. PARÁMETROS PARA COSTO DE CHIMENEAS [19].**

### Costos de Chimeneas.

Para estimar éstos costos, se usará la ecuación 4.3 y los parámetros de la *Figura 4.6*. De manera que escogiendo para una hoja de acero galvanizada, con H<sub>s</sub> = 18.75 m (61.48 pie); D<sub>s</sub> = 0.85 m (33.4 pulg) y

resolviendo la ecuación 4.3, se presentan los resultados en la Tabla N 4.1 del **APÉNDICE N**.

### **Impuestos, Fletes y costos de Instrumentación**

Estos costos varían, respectivamente, de acuerdo a la localización de los sistemas de ventilación y a la distancia del sitio al proveedor 12% (impuestos) y 5% (transporte) son valores del costo total de equipo.

Según la Tabla N 4.1 del **APÉNDICE N**, el Costo Total **(A)**: Campanas, ductos, accesorios, ventiladores y chimenea es de **\$ 67,525.30**.

### **Costos Directos Anuales de Equipos (A).**

Los sistemas de ventilación incurren en pocos costos directos anuales, ya que funcionan para soportar a los dispositivos de control. Los costos de mantenimiento también serían mínimos, excepto por gastos menores tales como pintura, reparación del aislante o calibración de los controles automáticos de las válvulas mariposa. Los únicos costos de servicios serían la electricidad adicional necesaria para que la corriente del gas residual venza a la presión estática en la campana, sistema de conductos y en la chimenea. Estos serán calculados resolviendo la ecuación 4.5 y los resultados se muestran en la *Tabla 14*.

$$C_c = (1.175 \times 10^{-4}) \frac{p_c Q_{gas} F_d \theta}{\epsilon} \quad (4.5)$$

**TABLA 14**  
**COSTOS DIRECTOS ANUALES DE EQUIPOS (A)**

| VARIABLES                          | VENTILADOR 1 | VENTILADOR 2 |
|------------------------------------|--------------|--------------|
| $p_c$ (\$/KWh)                     | 0.09         | 0.09         |
| $Q$ (pie <sup>3</sup> /min)        | 3390         | 29749        |
| $F_d$ (pulg. c.d H <sub>2</sub> O) | 15.07        | 27.28        |
| $\Theta$ (h/año)                   | 1920         | 1920         |
| $\epsilon$                         | 0.75         | 0.75         |
| $C_c$ (\$/año)                     | 1,383.04     | 21,970.35    |

**TABLA 15**  
**COSTOS TOTALES ANUALES DE EQUIPOS (A)**

|                                           |                  |
|-------------------------------------------|------------------|
| <b>COSTO DIRECTO ANUAL (B) (\$)</b>       | 23,353.39        |
| <b>COSTOS INDIRECTOS ANUALES (C) (\$)</b> |                  |
| IMPUESTOS PREDIALES (0.01A)               | 675.25           |
| SEGURO (0.01A)                            | 675.25           |
| ADMINISTRATIVOS (0.02A)                   | 1,350.50         |
| <b>COSTO TOTAL ANUAL (B+C) (\$)</b>       | <b>26,054.40</b> |

Si se tiene que para Guayaquil el costo de energía para el sector industrial es de 0.09 \$/KWh, según el Cuadro 31 del **APÉNDICE O**.

Además las horas anuales:  $\frac{8h}{\text{día}} \times \frac{20\text{días}}{1\text{mes}} \times \frac{12\text{meses}}{\text{año}} = \underline{\underline{1920h/\text{año}}}$ .

El total de Costos Anuales, usando la ecuación 4.1 que estos equipos tendrían se muestran en la *Tabla 15*.

### Costos del Filtro de Mangas

**TABLA 16**  
**COSTOS TOTAL FILTRO DE MANGAS**

|                  |             |                                                     |                  |
|------------------|-------------|-----------------------------------------------------|------------------|
| COSTOS DIRECTOS  | EQUIPOS     | COSTO DE FILTRO DE MANGAS                           | \$ (USD)         |
|                  |             | FILTRO DE TELA + BOLSAS + EQ AUXILIAR (D)           | 25,500.00        |
|                  |             | INSTRUMENTACIÓN (0.10D)                             | 2,550.00         |
|                  |             | IMPUESTOS (0.12D)                                   | 3,060.00         |
|                  |             | TRANSPORTE (0.05D)                                  | 1,275.00         |
|                  |             | <b>COSTO TOTAL DE EQUIPO ADQUIRIDO (E)</b>          | <b>32,385.00</b> |
|                  | INSTALACION | COSTOS DIRECTOS DE INSTALACIÓN                      |                  |
|                  |             | CIMENTOS Y SOPORTES (0.04 E)                        | 1,295.40         |
|                  |             | MANEJO (0.15E)                                      | 4,857.75         |
|                  |             | SISTEMA ELÉCTRICO (0.08E)                           | 2,590.80         |
|                  |             | TUBERÍA (0.01E)                                     | 323.85           |
|                  |             | AISLAMIENTO DE CONDUCTOS (0.07E)                    | 2,266.95         |
|                  |             | PINTURA (0.04E)                                     | 1,295.40         |
|                  |             | <b>COSTO TOTAL DIRECTO DE INSTALACIÓN (F)</b>       | <b>12,630.15</b> |
|                  |             | PREPARACIÓN DEL SITIO (G)                           | 1,200.00         |
|                  |             | EDIFICACIONES (H)                                   | 800.00           |
|                  |             | <b>COSTO TOTAL DIRECTO (CD) (E+F+G+H)</b>           | <b>47,015.15</b> |
| COSTO INDIRECTOS |             | INGENIERÍA (0.1E)                                   | 3,238.50         |
|                  |             | GASTOS DE CONSTRUCCIÓN Y CAMPO (0.2E)               | 6,477.00         |
|                  |             | HONORARIOS DEL CONSTRUCTOR (0.1E)                   | 3,238.50         |
|                  |             | INICIO DE OBRA (0.01E)                              | 323.85           |
|                  |             | PRUEBA DE RENDIMIENTO (0.01E)                       | 323.85           |
|                  |             | CONTINGENCIAS (0.03E)                               | 971.55           |
|                  |             | <b>COSTO TOTAL INDIRECTO (CI) (I)</b>               | <b>14,573.25</b> |
|                  |             | <b>INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL (TCI) (E+F+G+H+I)</b> | <b>61,588.40</b> |

Para el cálculo del Filtro de Mangas se usa de la Tabla 1.7 del **APÉNDICE O**, que indica que, para un Filtro de Mangas de chorro pulsante de caja común se use la Figura 1.8 del **APÉNDICE O**, la misma que para un área de  $A_{filtrado} = \underline{345.2m^2} = 3711pies^2 = 3.71 \times 10^3 pies^2$  da un valor de aproximadamente **\$ 25,500.00**. Siguiendo el Formato de la

Tabla 1.9 del **APÉNDICE O**, se calcula el Costo Total del Filtro de Mangas, cuyos resultados se muestran en la *Tabla 16*.

### Costos del Precipitador Electrostático

**TABLA 17**  
**COSTO DEL PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO**

|                 |             |                                               |                  |
|-----------------|-------------|-----------------------------------------------|------------------|
| COSTOS DIRECTOS | EQUIPOS     | COSTO DEL PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO         | \$ (USD)         |
|                 |             | PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO (J)               | 38,280.00        |
|                 |             | INSTRUMENTACIÓN (0.1J)                        | 3,828.00         |
|                 |             | IMPUESTOS (0.12J)                             | 4,593.60         |
|                 |             | TRANSPORTE (0.05J)                            | 1,914.00         |
|                 |             | <b>COSTO TOTAL DE EQUIPO ADQUIRIDO (K)</b>    | <b>48,615.60</b> |
|                 | INSTALACION | COSTOS DIRECTOS DE INSTALACIÓN                |                  |
|                 |             | CIMENTOS Y SOPORTES (0.04K)                   | 1,944.62         |
|                 |             | MANEJO (0.15K)                                | 7,292.34         |
|                 |             | SISTEMA ELÉCTRICO (0.08K)                     | 3,889.25         |
|                 |             | TUBERÍA (0.01K)                               | 486.16           |
|                 |             | AISLAMIENTO DE CONDUCTOS (0.07K)              | 3,403.09         |
|                 |             | PINTURA (0.04K)                               | 1,944.62         |
|                 |             | <b>COSTO TOTAL DIRECTO DE INSTALACIÓN (L)</b> | <b>18,960.08</b> |
|                 |             |                                               |                  |
|                 |             | PREPARACIÓN DEL SITIO (M)                     | 1,200.00         |
|                 |             | EDIFICACIONES (N)                             | 800.00           |
|                 |             | <b>COSTO TOTAL DIRECTO (CD) (J+K+L+M+N)</b>   | <b>69,575.68</b> |

Para el cálculo del Precipitador Electrostático se usa la ecuación 4.5 extraída de la Figura 3.5 del **APÉNDICE O**, que indica el costo del Equipo, para un área de superficie de Recolección de 400 pies<sup>2</sup> sería:

$$COSTO EQUIPO(\$) = 891.10(\text{Área}_{\text{superficie recolección}})^{0.6276} \quad (4.5)$$

$$COSTO EQUIPO(\$) = 891.10(400 \text{ pies}^2)^{0.6276}$$

$$COSTO EQUIPO(\$) = 38,280.00$$



Siguiendo el Formato de la Tabla 1.9 del **APÉNDICE O**, se calcula el Costo Total Directo del Precipitador Electrostático, cuyos resultados se muestran en la *Tabla 17*.

### Costo del Lavador Venturi

De acuerdo al **APÉNDICE P**, según la Hoja de Datos EPA-452/F-03-017, se considera el Costo Capital del Venturi de **\$ 5,300.00**.

Se adicionará a esto el costo por los Materiales y Equipos accesorios para el Funcionamiento del Venturi, los mismos que se muestran en la *Tabla 18*.

**TABLA 18**  
**COSTO DE EQUIPOS ADICIONALES AL VENTURI**

| EQUIPOS Y MATERIALES          | MATERIAL         | CANT. | COSTO (\$) | SUB TOTAL (\$)  |
|-------------------------------|------------------|-------|------------|-----------------|
| VÁLVULAS DE BOLA 1/2 pulg     | ACERO            | 2     | 32.00      | 64.00           |
| VÁLVULAS DE BOLA DE 3 pulg    | ACERO            | 4     | 125.00     | 500.00          |
| TUBERÍA GALVANIZADA 1/2 (6 m) | ACERO GALV.      | 2     | 55.00      | 110.00          |
| TUBERIA ASTM A53 SCH 40 (6 m) | ACERO            | 3     | 134.00     | 402.00          |
| BRIDAS ANSI 16.5              | ACERO            | 6     | 32.00      | 192.00          |
| PERNOS PARA BRIDAS            | ACERO            | 24    | 0.50       | 12.00           |
| CODOS 90 ½ pulg               | ACERO            | 4     | 0.45       | 1.80            |
| CODOS 90 3 pulg               | ACERO            | 2     | 27.00      | 54.00           |
| UNION UNIVERSAL ½ pulg        | ACERO            | 2     | 0.35       | 0.70            |
| NEPLOS ½ pulg                 | ACERO            | 4     | 0.45       | 1.80            |
| BOMBA CENTRIFUGA 1 HP ½ pulg  | CARCAZA<br>ACERO | 1     | 230.00     | 230.00          |
| SUBTOTAL (\$)                 |                  |       |            | 1,568.30        |
| IMPUESTOS (12%)               |                  |       |            | 188.20          |
| <b>TOTAL</b>                  |                  |       |            | <b>1,756.50</b> |

En la *Tabla 19* se indica la **Inversión Capital Total** del sistema sumando cada uno de los costos involucrados en los equipos.

### Costo del Ciclón

De acuerdo al **APÉNDICE Q**, según la Hoja de Datos EPA-452/F-03-005, se considera el Costo Capital del Ciclón de **\$ 4,600.00**.

**TABLA 19**  
**INVERSIÓN DEL CAPITAL TOTAL**

|                                                                   |                   |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------|
| CAMPANAS, DUCTOS, CODOS,<br>REDUCTORES, VENTILADORES,<br>CHIMENEA | 93,579.70         |
| FILTRO DE MANGAS                                                  | 61,588.40         |
| PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO                                       | 69,575.68         |
| LAVADOR VENTURI                                                   | 7,056.00          |
| CICLÓN                                                            | 4,600.00          |
| <b>INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL</b>                                 | <b>236,399.78</b> |

### Estudio de Rentabilidad.

Para realizar el Estudio de Rentabilidad, se centrará en el Código de Trabajo del país, vigente desde el año 2005, cuyo extracto de artículos se muestran en el **APÉNDICE R**.

El Art. 363 de la clasificación de las enfermedades profesionales se considerará a la **Siderosis** como enfermedad que se produciría si **no** se cuenta con el Sistema de Extracción Diseñado y las demás

enfermedades que se mencionan en el inciso 1.2 de ésta Tesis, para revision de la Comisión calificadora de Riesgos según el Art. 364.

Considerando también el Parágrafo Segundo de las Indemnizaciones en caso de enfermedades Profesionales el Art. 376, el mismo que relaciona el Art. 369 del Parágrafo Primero el cual 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.*

De tal manera que si los trabajadores no cuentan con el Sistema de Extracción y Equipos de Protección Personal adecuados los costos de Indemnización por muerte (considerando un escenario crítico) serían los que se muestran a continuación en la *Tabla 20*.

Un soldador recibe un salario mensual de \$ 850.00, por lo que anualmente recibiría \$ 10,200.00.

Un operador de corte de metales recibe un salario mensual de \$ 550.00, por lo que anualmente recibiría \$ 6,600.00.

**TABLA 20**  
**COSTO TOTAL DE INDEMNIZACIONES**

| EMPLEADO | \$/AÑO    | \$ EN 4 AÑOS | PERSONAS | SUBTOTAL (\$) | TOTAL (\$) |
|----------|-----------|--------------|----------|---------------|------------|
| SOLDADOR | 10,200.00 | 40,800.00    | 8        | 326,400.00    | 379,200.00 |
| CORTADOR | 6,600.00  | 26,400.00    | 2        | 52,800.00     |            |

Si no se pagara las indemnizaciones, sería un beneficio para la empresa, relacionando los datos conseguidos para obtener el costo/beneficio, el valor es mayor a uno (>1), lo que significa que la ejecución del proyecto es rentable para la empresa.

$$\frac{BENEFICIO}{COSTO} = \frac{INDEMNIZACIONES}{INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL} = \frac{\$ 379,200.00}{\$ 236,399.78} = 1,60 > 1$$

Los Resultados indican la Rentabilidad, aún no considerando las sanciones económicas que se impondrían por el No cumplimiento de las Normas de Calidad de Aire Ambiente.

## CAPÍTULO 5

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### Conclusiones.

1. Se cumplieron los objetivos propuestos, los análisis técnicos e ingenieriles y resultados en cada uno de los equipos proporcionaron resultados de aceptabilidad, confiabilidad y eficiencia para el diseño.
2. Los beneficios que proveerá la Implantación del Sistema de Extracción se verán reflejados en un aumento de producción y en el cumplimiento de la Legislación Ambiental y Normativas de Seguridad.
3. El resultado del Costo/Beneficio en el Estudio Económico es de **1.6** (mayor a 1), esto indica que la ejecución del Proyecto es **RENTABLE** para la empresa.

4. El costo Total de la Inversión se lo podrá recuperar paulatinamente con la Producción, porque se evitaría ausentismo laboral y grandes multas por enfermedades profesionales, muerte o contaminación ambiental.

#### **Recomendaciones.**

1. Se propone la mejora de éste proyecto con la adición del diseño eléctrico y con sistemas de control automático para facilitar el manejo de los operadores.
2. Se recomienda realizar mediciones experimentales de los humos metálicos y gases, con el objetivo de obtener un valor exacto de densidad y concentraciones para recalcular la eficiencia del Sistema, ya que para dichos cálculos se tomaron valores aproximados o de acuerdo a la Normativa.
3. Se recomienda también elaborar un manual de operación y mantenimiento del Sistema, respetando las indicaciones de los fabricantes de los Equipos y Componentes del Sistema de Extracción.

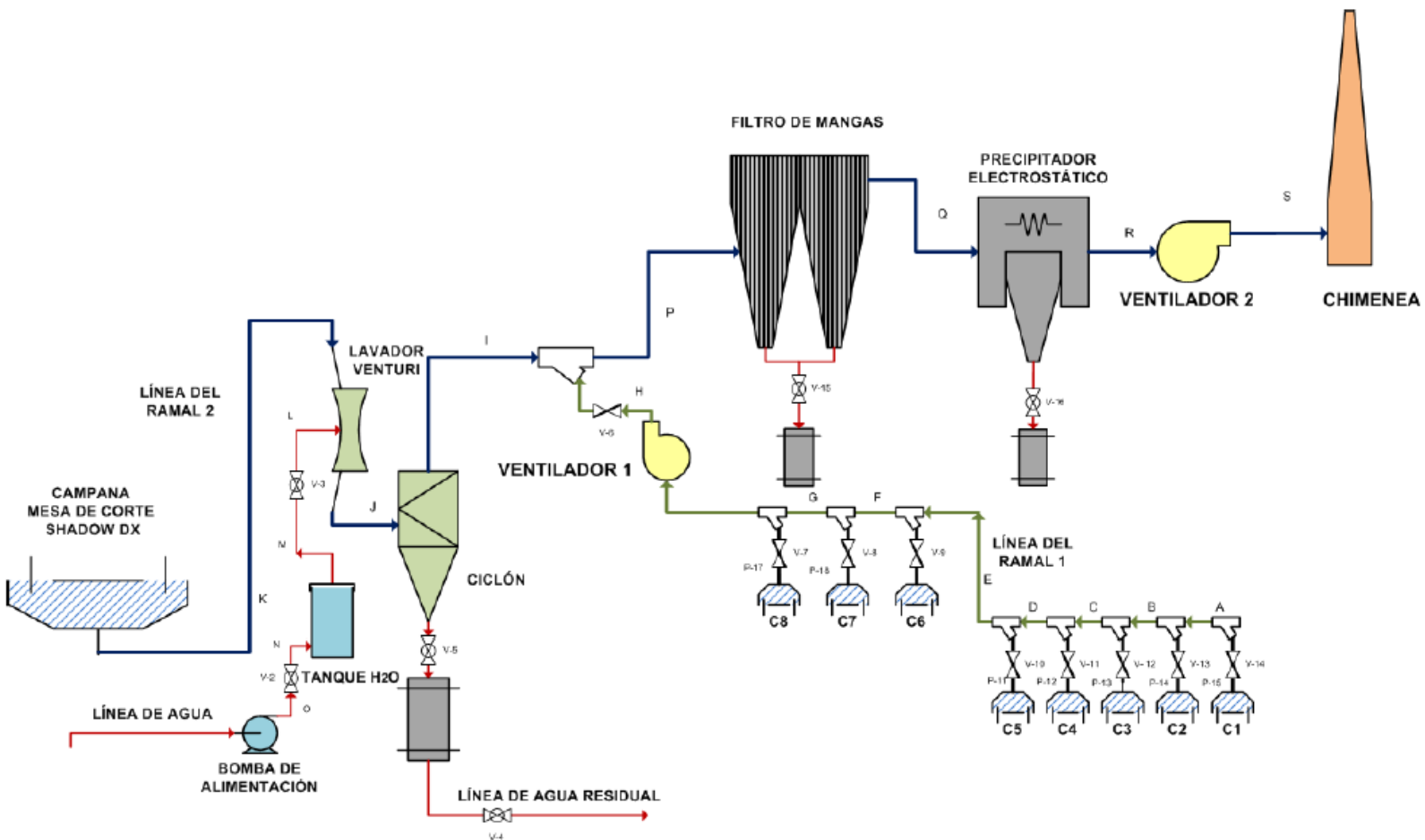
# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## PLANOS

- ☞ Plano 1 Sistema de Extracción Localizada
- ☞ Plano 2 Campana Ramal 2
- ☞ Plano 3 Mesa de Corte
- ☞ Plano 4 Campana Ramal 1.
- ☞ Plano 5 Ductos y Accesorios.
- ☞ Plano 6 Ciclón.
- ☞ Plano 7 Lavador Venturi.





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:  
**FIMCP - ESPOL**

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION 01

TITLE:

**SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA**

NAME

SIGNATURE

DATE

DRAWN

HENRY CA RILLO

17/02/201

CHKD

HELIGUERO M.

17/02/201

APP'D

HELIGUERO M.

17/02/201

MFG

Q.A.

MATERIAL:

SEGÚN TABLA N 4.1

DWG NO.

1

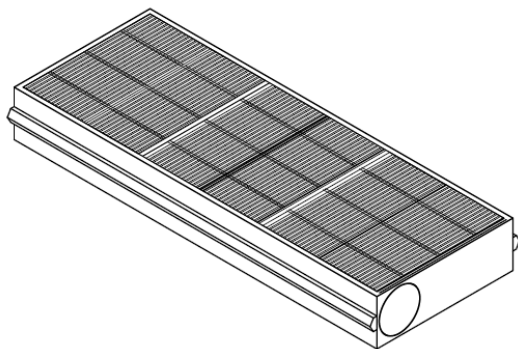
A4

WEIGHT:

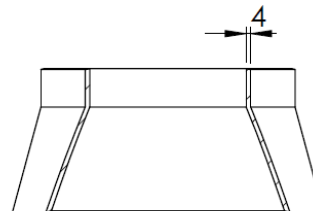
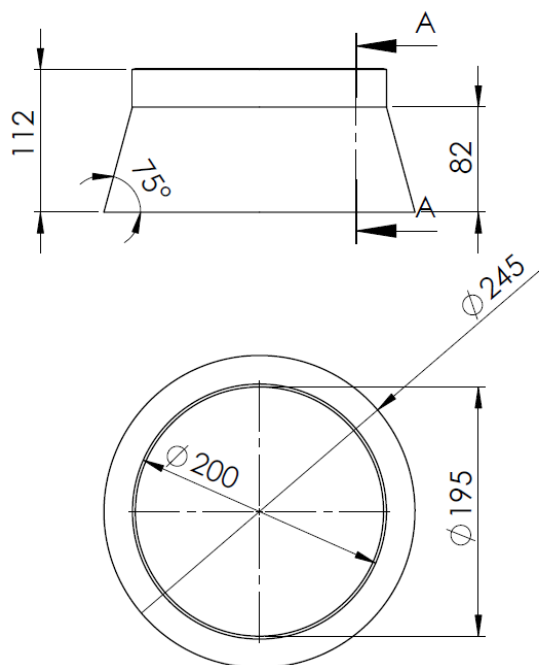
SCALE:1



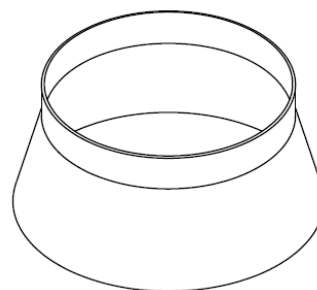
|                                                                                                                       |  |           |  |                                     |  |  |  |                                   |  |                                                                    |  |  |  |              |  |    |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------|--|-------------------------------------|--|--|--|-----------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------|--|--|--|--------------|--|----|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: |  |           |  | FINISH:<br><br><b>FIMCP - ESPOL</b> |  |  |  | DEBUR AND<br>BREAK SHARP<br>EDGES |  | DO NOT SCALE DRAWING                                               |  |  |  | REVISION     |  | 01 |  |
|                                                                                                                       |  |           |  |                                     |  |  |  |                                   |  | TITLE:<br><br><h1 style="text-align: center;">CAMPANA RAMAL 2</h1> |  |  |  |              |  |    |  |
| NAME                                                                                                                  |  | SIGNATURE |  | DATE                                |  |  |  |                                   |  |                                                                    |  |  |  |              |  |    |  |
| DRAWN HENRY CARRILLO                                                                                                  |  |           |  | 18/02/201                           |  |  |  |                                   |  |                                                                    |  |  |  |              |  |    |  |
| CHK'D HELGUERO M.                                                                                                     |  |           |  | 18/02/201                           |  |  |  |                                   |  |                                                                    |  |  |  |              |  |    |  |
| APPR'D HELGUERO M.                                                                                                    |  |           |  | 18/02/201                           |  |  |  |                                   |  |                                                                    |  |  |  |              |  |    |  |
| MFG                                                                                                                   |  |           |  |                                     |  |  |  |                                   |  |                                                                    |  |  |  |              |  |    |  |
| Q.A                                                                                                                   |  |           |  |                                     |  |  |  | MATERIAL:<br><br>ASTM A 36        |  | DWG NO.                                                            |  |  |  | 2            |  | A4 |  |
|                                                                                                                       |  |           |  |                                     |  |  |  |                                   |  |                                                                    |  |  |  |              |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |           |  |                                     |  |  |  |                                   |  |                                                                    |  |  |  |              |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |           |  |                                     |  |  |  | WEIGHT:                           |  | SCALE:1:20                                                         |  |  |  | SHEET 1 OF 1 |  |    |  |



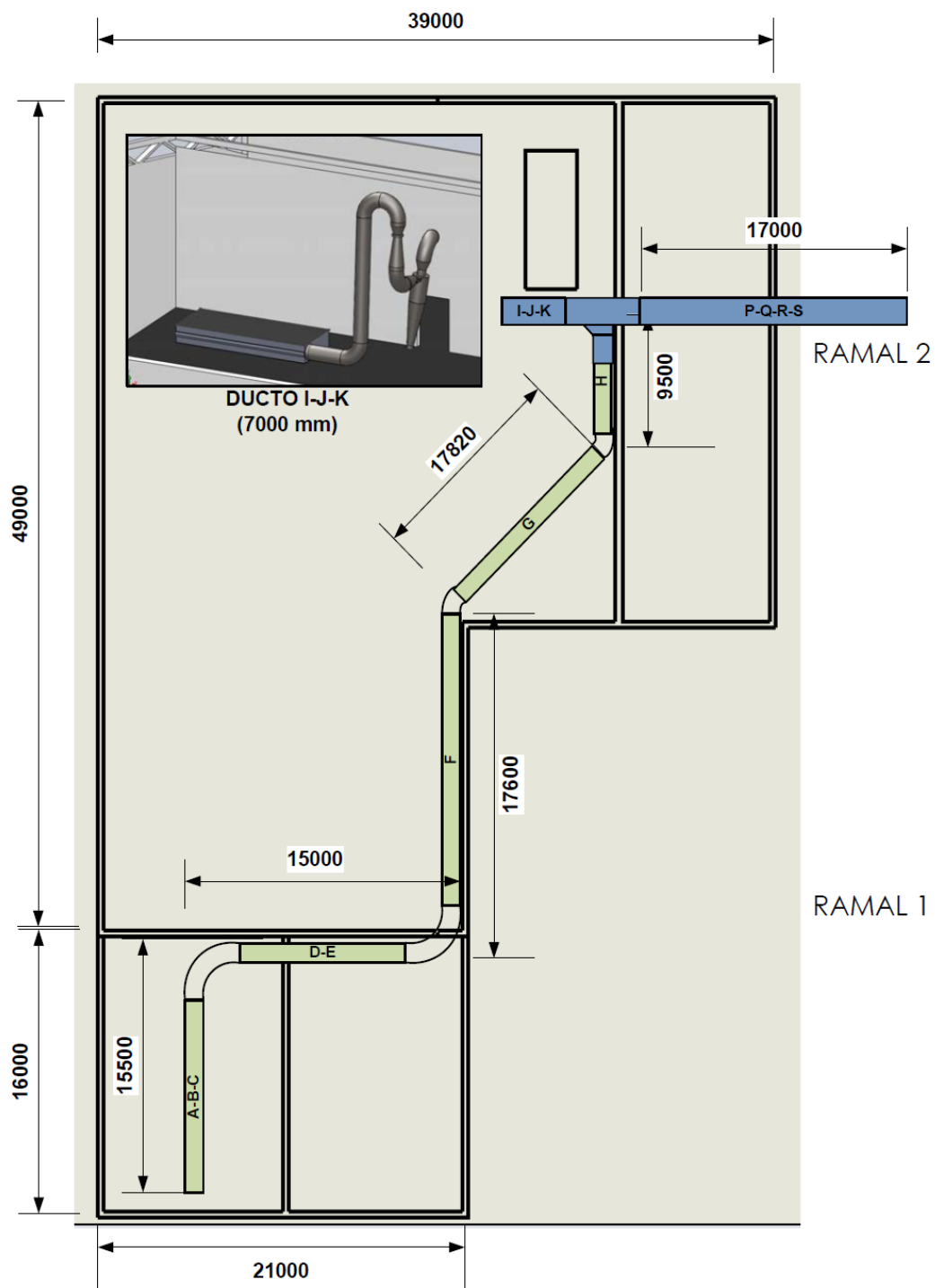
|                                                                                                                       |  |                |  |                                    |  |                                                                                                    |  |                                                                                                       |  |          |  |              |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------|--|------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------|--|--------------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: |  |                |  | FINISH:<br><br><b>FIMCIP-ESPOL</b> |  | DEBUR AND<br>BREAK SHARP<br>EDGES                                                                  |  | DO NOT SCALE DRAWING                                                                                  |  | REVISION |  | 01           |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |                                    |  |                                                                                                    |  | TITLE:<br><br><div style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">MESA DE CORTE</div> |  |          |  |              |  |
| NAME                                                                                                                  |  | SIGNATURE      |  | DATE                               |  |                                                                                                    |  |                                                                                                       |  |          |  |              |  |
| DRAWN                                                                                                                 |  | HENRY CARRILLO |  |                                    |  |                                                                                                    |  |                                                                                                       |  |          |  |              |  |
| CHK'D                                                                                                                 |  | HELGUERO M.    |  |                                    |  |                                                                                                    |  |                                                                                                       |  |          |  |              |  |
| APPVD                                                                                                                 |  | HELGUERO M.    |  |                                    |  |                                                                                                    |  |                                                                                                       |  |          |  |              |  |
| MFG                                                                                                                   |  |                |  |                                    |  |                                                                                                    |  |                                                                                                       |  |          |  |              |  |
| Q.A                                                                                                                   |  |                |  |                                    |  | MATERIAL:<br><br><div style="text-align: center; font-size: 1.5em; font-weight: bold;">ACERO</div> |  | DWG NO.<br><br><div style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">3</div>            |  |          |  | A4           |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |                                    |  |                                                                                                    |  |                                                                                                       |  |          |  |              |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |                                    |  |                                                                                                    |  | SCALE: 1:100                                                                                          |  |          |  | SHEET 1 OF 1 |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |                                    |  |                                                                                                    |  |                                                                                                       |  |          |  |              |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |                                    |  | WEIGHT:                                                                                            |  |                                                                                                       |  |          |  |              |  |



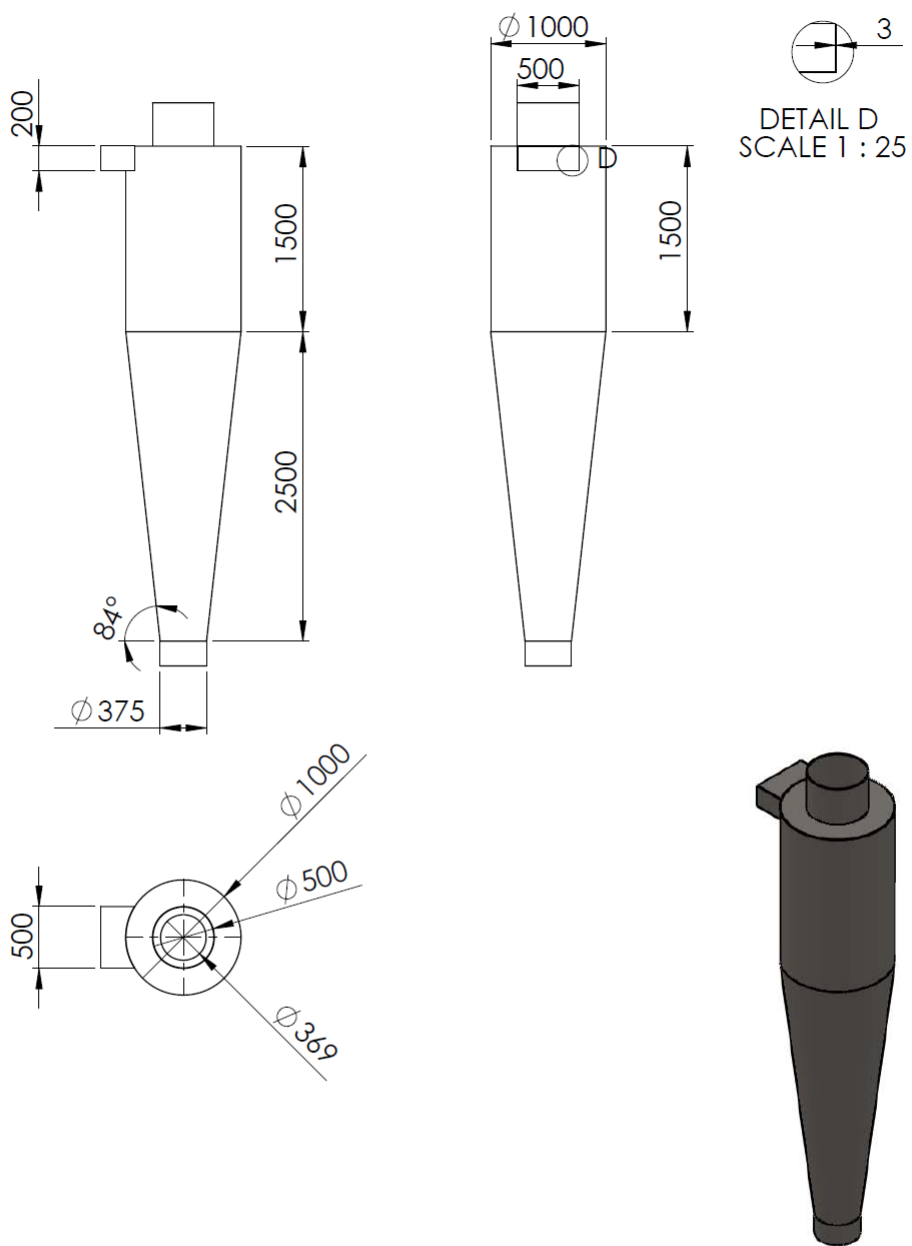
SECTION A-A



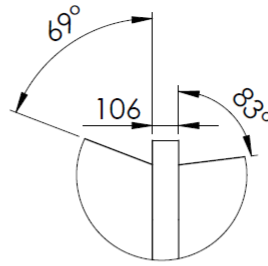
|                                                                                                                       |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  |                      |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|---------|--|--|--|-----------------------------------|--|--|--|----------------------|--|--|--|----------|--|--|--|----|--|--|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: |  |  |  | FINISH: |  |  |  | DEBUR AND<br>BREAK SHARP<br>EDGES |  |  |  | DO NOT SCALE DRAWING |  |  |  | REVISION |  |  |  | 01 |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | TITLE:               |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | CAMPANA RAMAL 1      |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
| DRAWN: HENRY CARRILLO                                                                                                 |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | DATE: 3/05/2011      |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
| CHKD: HELGUERO M.                                                                                                     |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | DATE: 3/05/2011      |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
| APPVD: HELGUERO M.                                                                                                    |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | DATE: 3/05/2011      |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
| MFG:                                                                                                                  |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  |                      |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
| Q.A:                                                                                                                  |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  |                      |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | MATERIAL:            |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | ACERO ASTM A36       |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | DWG NO. 4            |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | A4                   |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | WEIGHT:              |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | SCALE: 1:5           |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |         |  |  |  |                                   |  |  |  | SHEET 1 OF 1         |  |  |  |          |  |  |  |    |  |  |  |



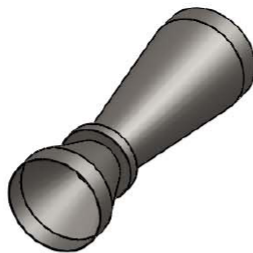
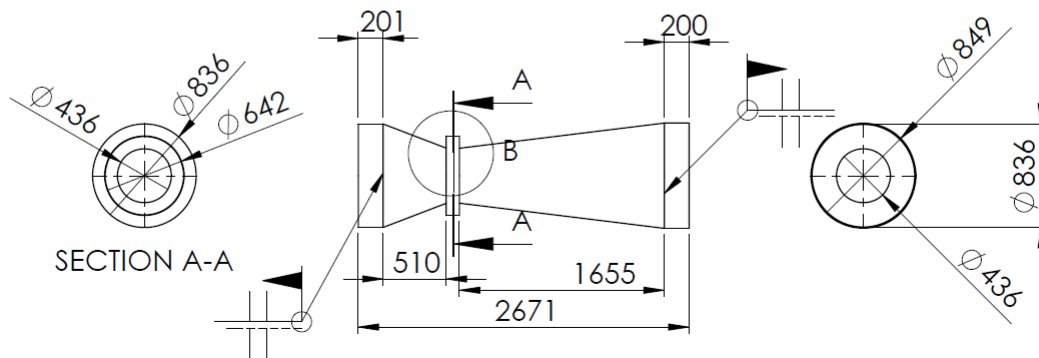
|                                                                                                                       |  |                |  |           |  |                                     |  |                                        |  |                      |  |                                          |  |    |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------|--|-----------|--|-------------------------------------|--|----------------------------------------|--|----------------------|--|------------------------------------------|--|----|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: |  |                |  |           |  | FINISH:<br><br><b>FIMCP - ESPOL</b> |  | DEBUR AND BREAK SHARP EDGES            |  | DO NOT SCALE DRAWING |  | REVISION                                 |  | 01 |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |           |  |                                     |  |                                        |  |                      |  |                                          |  |    |  |
|                                                                                                                       |  | NAME           |  | SIGNATURE |  | DATE                                |  |                                        |  |                      |  | TITLE:<br><br><b>DUCTOS Y ACCESORIOS</b> |  |    |  |
| DRAWN                                                                                                                 |  | HENRY CARRILLO |  |           |  | 03/05/201                           |  |                                        |  |                      |  |                                          |  |    |  |
| CHK'D                                                                                                                 |  | HELGUERO M.    |  |           |  | 03/05/201                           |  |                                        |  |                      |  |                                          |  |    |  |
| APPV'D                                                                                                                |  | HELGUERO M.    |  |           |  | 03/05/201                           |  |                                        |  |                      |  |                                          |  |    |  |
| MFG                                                                                                                   |  |                |  |           |  |                                     |  |                                        |  |                      |  |                                          |  |    |  |
| Q.A                                                                                                                   |  |                |  |           |  |                                     |  |                                        |  |                      |  |                                          |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |           |  |                                     |  |                                        |  |                      |  |                                          |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |           |  |                                     |  |                                        |  |                      |  | DWG NO.<br><br><b>5</b><br><br><b>A4</b> |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |           |  |                                     |  |                                        |  |                      |  |                                          |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |           |  |                                     |  | MATERIAL:<br><br><b>ACERO ASTM A36</b> |  |                      |  |                                          |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |           |  |                                     |  | WEIGHT:                                |  | SCALE:1:1            |  | SHEET 1 OF 1                             |  |    |  |



|                                                                                                                       |  |                |  |                              |  |           |  |                                   |  |  |  |                      |  |            |  |                      |  |              |  |    |  |    |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------|--|------------------------------|--|-----------|--|-----------------------------------|--|--|--|----------------------|--|------------|--|----------------------|--|--------------|--|----|--|----|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: |  |                |  | FINISH:<br><br>FIMCP - ESPOL |  |           |  | DEBUR AND<br>BREAK SHARP<br>EDGES |  |  |  | DO NOT SCALE DRAWING |  |            |  | REVISION             |  |              |  | 01 |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |                              |  |           |  |                                   |  |  |  |                      |  |            |  |                      |  |              |  |    |  |    |  |
|                                                                                                                       |  | NAME           |  | SIGNATURE                    |  | DATE      |  |                                   |  |  |  |                      |  |            |  | TITLE:<br><br>CICLÓN |  |              |  |    |  |    |  |
| DRAWN                                                                                                                 |  | HENRY CARRILLO |  |                              |  | 03/05/201 |  |                                   |  |  |  |                      |  |            |  |                      |  |              |  |    |  |    |  |
| CHK'D                                                                                                                 |  | HELGUERO M.    |  |                              |  | 03/05/201 |  |                                   |  |  |  |                      |  |            |  |                      |  |              |  |    |  |    |  |
| APPV'D                                                                                                                |  | HELGUERO M.    |  |                              |  |           |  |                                   |  |  |  |                      |  |            |  |                      |  |              |  |    |  |    |  |
| MFG                                                                                                                   |  |                |  |                              |  |           |  |                                   |  |  |  |                      |  |            |  |                      |  |              |  |    |  |    |  |
| Q.A                                                                                                                   |  |                |  |                              |  |           |  | MATERIAL:<br><br>ACERO ASTM A36   |  |  |  |                      |  | DWG NO.    |  |                      |  | 6            |  |    |  | A4 |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |                              |  |           |  |                                   |  |  |  |                      |  |            |  |                      |  |              |  |    |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |                              |  |           |  |                                   |  |  |  |                      |  |            |  |                      |  |              |  |    |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |                              |  |           |  |                                   |  |  |  |                      |  | SCALE:1:50 |  |                      |  | SHEET 1 OF 1 |  |    |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |                              |  |           |  |                                   |  |  |  |                      |  |            |  |                      |  |              |  |    |  |    |  |
|                                                                                                                       |  |                |  |                              |  |           |  | WEIGHT:                           |  |  |  |                      |  |            |  |                      |  |              |  |    |  |    |  |



DETAIL B  
SCALE 1 : 25



|                                                                                                                       |  |  |  |                                 |  |                                    |  |                                  |  |             |  |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|---------------------------------|--|------------------------------------|--|----------------------------------|--|-------------|--|--|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:<br>DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS<br>SURFACE FINISH:<br>TOLERANCES:<br>LINEAR:<br>ANGULAR: |  |  |  | FINISH:<br><b>FIMCP - ESPOL</b> |  | DEBUR AND<br>BREAK SHARP<br>EDGES  |  | DO NOT SCALE DRAWING             |  | REVISION 01 |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |                                 |  |                                    |  | TITLE:<br><b>LAVADOR VENTURI</b> |  |             |  |  |  |
| DRAWN HENRY CARRILLO                                                                                                  |  |  |  | 02/06/2011                      |  |                                    |  |                                  |  |             |  |  |  |
| CHK'D HELGUERO M.                                                                                                     |  |  |  | 02/06/2011                      |  |                                    |  |                                  |  |             |  |  |  |
| APPV'D HELGUERO M.                                                                                                    |  |  |  | 02/06/2011                      |  |                                    |  |                                  |  |             |  |  |  |
| MFG                                                                                                                   |  |  |  |                                 |  |                                    |  |                                  |  |             |  |  |  |
| Q.A                                                                                                                   |  |  |  |                                 |  | MATERIAL:<br><b>ACERO ASTM A36</b> |  | DWG NO. <b>7</b>                 |  |             |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |                                 |  |                                    |  | A4                               |  |             |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |                                 |  | WEIGHT:                            |  | SCALE:1:50                       |  |             |  |  |  |
|                                                                                                                       |  |  |  |                                 |  |                                    |  | SHEET 1 OF 1                     |  |             |  |  |  |

## **APÉNDICE B-1**

### **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CAMPANAS DE EXTRACCIÓN PARA HUMOS Y GASES DE SOLDADURA**

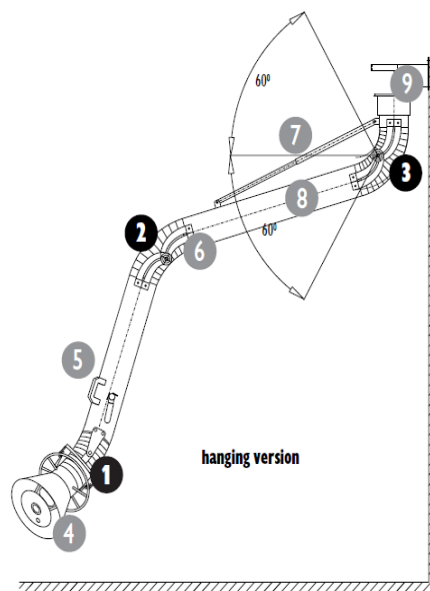
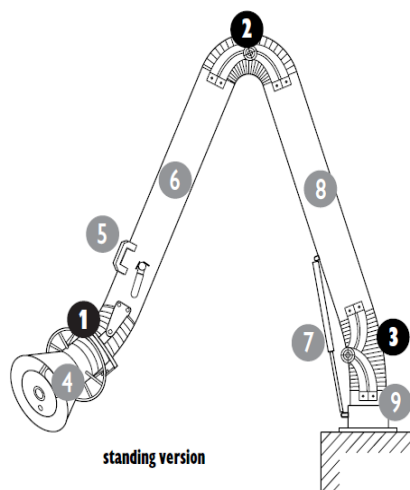




## Industrial Strength Construction

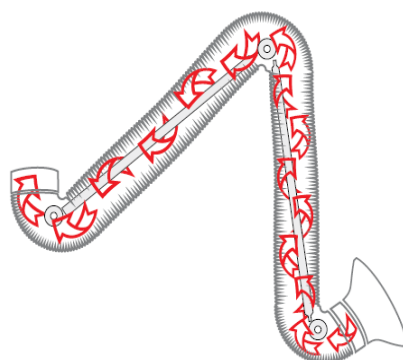
# Industrial Strength Fume Arms

- 1 HOOD JOINT**  
Hood easy to move forward, backward and sideways. All external adjustments. Flexible hose with gear clamps.
- 2 MIDDLE JOINT**  
All external adjustments. Flexible hose with gear clamps.
- 3 SOCKET JOINT**  
Rotating swivel with safety stop. All external adjustments. Flexible hose with gear clamps.



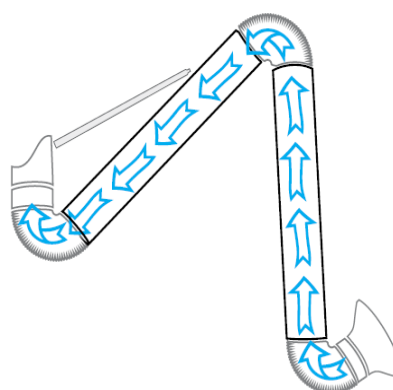
- 4** Aluminium hood (powder coated) with surrounding grab handle, ready to be fitted with optional light kit.
- 5** Additional tube grab handle.
- 6** Smooth steel tube (powder coated) with standard damper.
- 7** Support spring or gas shock on the outside on both versions.
- 8** Smooth steel tube (powder coated).
- 9** Swivel base with predrilled mounting holes

## Comparison



### Non Oskar fume arm - internal components

- non smooth airflow
- higher static pressure
- hard to clean
- building on joint and components



### Oskar fume arm - external components

- smooth airflow
- lower static pressure
- quick cleaning
- minimal build up



## Industrial Strength Fume Arms



### Applications:

Welding • Grinding • Polishing • Cutting  
Soldering • Chemical Fumes and many more!

### Features:

- industrial strength
- versatile design
- smooth tube construction
- external joints and supports
- hood and tube grab handles
- air diverter in the hood
- standard damper

### Benefits:

- long lasting life time
- user-friendly operation
- higher airflow performance
- easy to adjust and maintain
- simple positioning
- increased capture velocity
- damper with-in the price



**All External Joints and Supports**



**Standard Damper**



**Air Diverter and Grab Handle  
all around the Hood**

Oskar's Fume Arms are the most versatile, durable and economical method for capturing air impurities at their source. The construction of steel tubes, flexible hose at joints and external cast aluminium joints allow the arm to be positioned where needed. Oskar's Fume arms come in diameters of 75, 100, 125, 160 and 200mm and lengths up to 4m.

All of Oskar's Fume Arm can be easily equipped with a light kit or larger hood diameters. Oskar's Fume Arms can be easily used with Oskar's Sliding Suction Rails, Extension Booms, Fans and Modular Units. For more specific information on Oskar's Fume Arms contact your local Oskar Representative or visit our web site at [www.oskarairproducts.com](http://www.oskarairproducts.com)

## Exhaust cranes

The **KEMPER** exhaust cranes with a diameter of 250 mm are very suitable for the extraction of higher air flows. They can be used where huge amounts of dusts are produced during industrial processes.

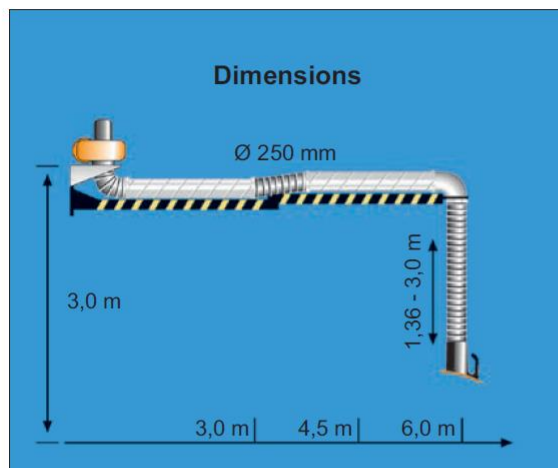
### Scope of delivery:

Exhaust crane incl. exhaust hood and wall bracket

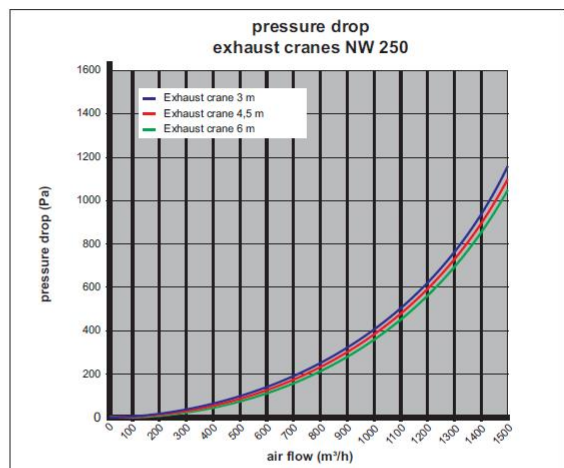
### Technical data

Weight at a length of 3,0 m: 70,5 kg  
 Weight at a length of 4,5 m: 85,5 kg  
 Weight at a length of 6,0 m: 120,0 kg  
 Diameter: 250 mm  
 Noise level at 1.500 m³/h: aprox. 67 dB (A)

| Part No. | Description            | €        |
|----------|------------------------|----------|
| 91 230   | Length 3,0 m, Ø 250 mm | 1.897,00 |
| 91 245   | Length 4,5 m, Ø 250 mm | 2.225,00 |
| 91 260   | Length 6,0 m, Ø 250 mm | 2.932,00 |



Suggested installation height



The diagram indicates the pressure drop of the exhaust cranes against the air flow.

For adequate fans see page 16.

For ducting systems see page 252.

For accessories and spare parts see page 13 / 14.

## **APÉNDICE B-2**

### **MSDS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES**

☞ Figura B-1 MSDS Material de Aporte Aluminio 5356. [6]

☞ Tabla B-2 Límites Máximos Permisibles de Contaminantes. [4]



|                    |                                   |                  |                   |
|--------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|
| <b>Date:</b>       | <b>8/1/2007</b>                   | <b>MSDS No.:</b> | <b>RAD-W400-C</b> |
| <b>Trade Name:</b> | <b>Radnor Aluminum Wires/Rods</b> |                  |                   |
| <b>Sizes:</b>      | <b>All</b>                        |                  |                   |
| <b>Supersedes:</b> | <b>10/17/05</b>                   |                  |                   |

# MATERIAL SAFETY DATA SHEET

## For Welding Consumables and Related Products

Conforms to Hazard Communication Standard 29CFR 1910.1200 Rev. October 1989

## SECTION I - IDENTIFICATION

|                                                                                                                |                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>Supplier:</b><br>Radnor Welding Products<br>P.O.Box 6675<br>Radnor, PA 19087<br><br>Chemtrec 1-800-424-9300 | <b>Product Type:</b> Aluminum Electrodes and Rods |
|                                                                                                                | <b>Products:</b> 4043, 5356                       |

## SECTION II - HAZARDOUS MATERIAL (1)

## IMPORTANT!

**IMPORTANT:** This section covers the materials from which this product is manufactured. The fumes and gases produced during welding with the normal use of this product are covered by Section V; see it for industrial hygiene information.

CAS Number shown is representative for the ingredients listed.

(1) The term "hazardous" in "Hazardous Materials" should be interpreted as a term required and defined in the Hazards Communication Standard and does not necessarily imply the existence of any hazard. All materials are listed on the TSCA inventory.

[illegible]

**Supplemental Information:** (\*) Not listed. Nuisance value maximum is 10 milligrams per cubic meter.

(<sup>44</sup>) TLV for aluminum welding fume is 5 mg/m<sup>3</sup>.

(\*\*\*\*) Subject to the reporting requirements of Sections 311, 312, and 313 of the Emergency Planning and Community Right-to-Know Act of 1986 and of 40CFR 370 and 372.

(b) The OSHA PEL for chromium (VI) is 5 micrograms (0.005 milligrams) per cubic meter. The TLV for water soluble chromium (VI) is 0.05 milligrams per cubic meter and the TLV for insoluble chromium (VI) is 0.01 milligrams per cubic meter.

(c) Value is for manganese fume. Present PEL is 5 milligrams per cubic meter (ceiling value). Values proposed by OSHA in 1989 were 1.0 milligrams per cubic meter TWA and 3.0 milligrams per cubic meter STEL (Short Term Exposure Limit).

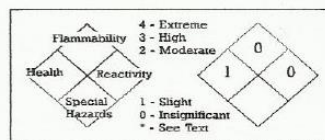
### SECTION III - HAZARD DATA

**Non-Flammable:** Welding arc and sparks can ignite combustibles and flammable products. See Z49.1 referenced in Section VI. Product is inert; no special handling or spill procedures required. Not regulated by DOT.



Product: Radnor Aluminum Wires/Rods

Date: 8/1/2007



## SECTION IV - HEALTH HAZARD DATA

**Threshold Limit Value:** The ACGIH recommended general limit for Welding Fume NOS - (Not Otherwise Specified) is 5 mg/m<sup>3</sup>. ACGIH-1999 preface states that the TLV-TWA should be used as guides in the control of health hazards and should not be used as fine lines between safe and dangerous concentrations. See Section V for specific fume constituents which may modify this TLV. Threshold Limit Values are figures published by the American Conference of Government Industrial Hygienists. Units are milligrams per cubic meter of air.

**Effects of Overexposure:** Electric arc welding may create one or more of the following health hazards:

Fumes and Gases can be dangerous to your health. Common entry is by inhalation. Other possible routes are skin contact and ingestion.

**Short-term (acute) overexposure** to welding fumes may result in discomfort such as metal fume fever, dizziness, nausea, or dryness or irritation of nose, throat, or eyes. May aggravate pre-existing respiratory problems (e.g. asthma, emphysema).

**Long-term (chronic) overexposure** to welding fumes can lead to siderosis (iron deposits in lung) and may affect pulmonary function. Bronchitis and some lung fibrosis have been reported. Chromates may cause ulceration and perforation of the nasal septum. Liver damage and allergic reactions, including skin rash, have been reported. Chromates contain the hexavalent form of chromium. Hexavalent chromium and its compound are on the IARC (International Agency for Research on Cancer) and NTP (National Toxicology Program) lists as posing a cancer risk to humans. **WARNING:** This product contains or produces a chemical known to the State of California to cause cancer and birth defects (or other reproductive harm). (California Health & Safety Code Section 25249.5 et seq.)

Arc Rays can injure eyes and burn skin. *Skin cancer has been reported.*

Electric Shock can kill. If welding must be performed in damp locations or with wet clothing, on metal structures or when in cramped positions such as sitting, kneeling or lying, or if there is a high risk of unavoidable or accidental contact with workpiece, use the following equipment: Semiautomatic DC Welder, DC Manual (Stick) Welder, or AC Welder with Reduced Voltage Control.

**Emergency and First Aid Procedures:** Call for medical aid. Employ first aid techniques recommended by the American Red Cross.

IF BREATHING IS DIFFICULT give oxygen. IF NOT BREATHING employ CPR (Cardiopulmonary Resuscitation) techniques.

IN CASE OF ELECTRICAL SHOCK, turn off power and follow recommended treatment. In all cases call a physician.

## SECTION V - REACTIVITY DATA

**Hazardous Decomposition Products:** Welding fumes and gases cannot be classified simply. The composition and quantity of both are dependent upon the metal being welded, the process, procedure and electrodes used.

Other conditions which also influence the composition and quantity of the fumes and gases to which workers may be exposed include: coatings on the metal being welded (such as paint, plating, or galvanizing), the number of welders and the volume of the worker area, the quality and amount of ventilation, the position of the welder's head with respect to the fume plume, as well as the presence of contaminants in the atmosphere (such as chlorinated hydrocarbon vapors from cleaning and degreasing activities.)

When the electrode is consumed, the fume and gas decomposition products generated are different in percent and form from the ingredients listed in Section II. Decomposition products of normal operation include those originating from the volatilization, reaction, or oxidation of the materials shown in Section II, plus those from the base metal and coating, etc., as noted above.

Reasonably expected fume constituents of this product would include: Primarily aluminum oxide; secondarily magnesium oxide (for 5356) and complex oxides of silicon (for 4043).

Maximum fume exposure guideline and PEL for this product is 5.0 milligrams per cubic meter.

Gaseous reaction products may include carbon monoxide and carbon dioxide. Ozone and nitrogen oxides may be formed by the radiation from the arc.

Determine the composition and quantity of fumes and gases to which workers are exposed by taking an air sample from inside the welder's helmet if worn or in the worker's breathing zone. Improve ventilation if exposures are not below limits. See ANSI/AWS F1.1, F1.2, F1.3 and F1.5, available from the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126.

## SECTION VI AND VII

### CONTROL MEASURES AND PRECAUTIONS FOR SAFE HANDLING AND USE

Read and understand the manufacturer's instruction and the precautionary label on the product. Request Lincoln Safety Publication E205. See American National Standard Z49.1, "Safety In Welding, Cutting and Allied Processes" published by the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL, 33126 (both available for free download at <http://www.lincolnelectric.com/community/safety/>) and OSHA Publication 2206 (29CFR1910), U.S. Government Printing Office, Superintendent of Documents, P.O. Box 371954, Pittsburgh, PA 15250-7954 for more details on many of the following:

**Ventilation:** Use enough ventilation, local exhaust at the arc, or both to keep the fumes and gases from the worker's breathing zone and the general area. Train the welder to keep his head out of the fumes. *Keep exposure as low as possible.*

**Respiratory Protection:** Use respirable fume respirator or air supplied respirator when welding in confined space or general work area when local exhaust or ventilation does not keep exposure below TLV.

**Eye Protection:** Wear helmet or use face shield with filter lens shade number 12 or darker. Shield others by providing screens and flash goggles.

**Protective Clothing:** Wear hand, head, and body protection which help to prevent injury from radiation, sparks and electrical shock. See Z49.1.

At a minimum this includes welder's gloves and a protective face shield, and may include arm protectors, aprons, hats, shoulder protection, as well as dark substantial clothing. Train the welder not to permit electrically live parts or electrodes to contact skin ... or clothing or gloves if they are wet. Insulate from work and ground.

**Disposal Information:** Discard any product, residue, disposable container, or liner as ordinary waste in an environmentally acceptable manner according to Federal, State and Local Regulations unless otherwise noted. No applicable ecological information available.

Tabla B-1 MSDS Material de Aporte Aluminio 5356. [6]

| LÍMITES DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL<br>PARA AGENTES QUÍMICOS EN ESPAÑA 2007 |            |                                                                                                             |                   |                   |           |                   |                                  |                                  |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| EINECS                                                                    | CAS        | AGENTE QUÍMICO                                                                                              | LÍMITES ADOPTADOS |                   |           |                   | NOTAS                            | FRASES R                         |
|                                                                           |            |                                                                                                             | VLA-ED            |                   | VLA-EC    |                   |                                  |                                  |
|                                                                           |            |                                                                                                             | ppm               | mg/m <sup>3</sup> | ppm       | mg/m <sup>3</sup> |                                  |                                  |
| 231-846-0                                                                 | 7758-97-6  | Cromato de plomo,                                                                                           |                   |                   |           |                   | <a href="#">TR1</a>              | 61-33-40-50/53-62                |
|                                                                           |            | como Cr                                                                                                     |                   | 0.012             |           |                   |                                  |                                  |
|                                                                           |            | como Pb                                                                                                     |                   | 0.05              |           |                   | <a href="#">VLB</a>              |                                  |
|                                                                           |            | Cromo metal, compuestos inorgánicos Cr (II) y Cr (III), como Cr                                             |                   | 0.5               |           |                   | <a href="#">véase Apartado 8</a> |                                  |
|                                                                           |            | Cromo (VI), compuestos inorgánicos, excepto el Cromato de bario y los específicamente citados en esta Tabla |                   |                   |           |                   | <a href="#">véase Apartado 6</a> | 49-43-50/53                      |
| 231-105-1                                                                 | 7439-96-5  | Manganeso Elemental y compuestos inorgánicos como Mn                                                        |                   | 0.2               |           |                   |                                  |                                  |
| 211-128-3                                                                 | 630-08-0   | Monóxido de carbono                                                                                         | 25                | 29                |           |                   | TR1, VLB                         | 61-12-23-48/23                   |
| 215-168-2                                                                 | 1309-37-1  | Óxido de hierro (III) (polvo y humos), como Fe                                                              |                   | 5                 |           |                   |                                  |                                  |
| 233-032-0                                                                 | 10024-97-2 | Óxido de dinitrógeno                                                                                        | 50                | 92                |           |                   |                                  |                                  |
| 233-069-2                                                                 | 10028-15-6 |                                                                                                             |                   |                   |           |                   |                                  |                                  |
|                                                                           |            | Ozono :                                                                                                     |                   |                   |           |                   |                                  |                                  |
|                                                                           |            | Trabajo pesado                                                                                              | 0.05              | 0.1               |           |                   |                                  |                                  |
|                                                                           |            | Trabajo moderado                                                                                            | 0.08              | 0.16              |           |                   |                                  |                                  |
|                                                                           |            | Trabajo ligero                                                                                              | 0.1               | 0.2               |           |                   |                                  |                                  |
|                                                                           |            | Trabajo pesado, moderado o ligero ( ? 2 horas)                                                              | 0.2               | 0.4               |           |                   |                                  |                                  |
|                                                                           |            | Soldadura, humos                                                                                            |                   | 5                 |           |                   | <a href="#">ñ</a>                |                                  |
|                                                                           |            | Níquel, compuestos inorgánicos excepto aquellos que están expresamente indicados en esta tabla, como Ni     |                   |                   |           |                   |                                  |                                  |
| Compuestos insolubles, como Ni                                            |            | 0.2                                                                                                         |                   |                   | c, Sen, r |                   |                                  |                                  |
| Compuestos solubles, como Ni                                              |            | 0.1                                                                                                         |                   |                   | c, Sen, r |                   |                                  |                                  |
| 232-220-0                                                                 | 7790-79-6  | Fluoruro de cadmio                                                                                          |                   |                   |           |                   | <a href="#">véase Apartado 6</a> | 45-46-60-61-25-26-48/23/25-50/53 |
| 206-534-2                                                                 | 353-50-4   | Fluoruro de carbonilo                                                                                       | 2                 | 5.5               | 5         | 14                |                                  |                                  |
| 231-634-8                                                                 | 7664-39-3  | Fluoruro de hidrógeno                                                                                       | 1.8               | 1.5               | 3         | 2.5               | VLB, VLI                         | 26/27/28-35                      |
| 231-526-0                                                                 | 7616-94-6  | Fluoruro de perclorilo                                                                                      | 3                 | 13                | 6         | 26                |                                  |                                  |
|                                                                           |            | Fluoruros inorgánicos, como F, excepto el hexafluoruro de uranio                                            |                   | 2.5               |           |                   | VLB, VLI                         |                                  |

Tabla B-2 Límites Máximos Permisibles de Contaminantes. [4]

## **APÉNDICE C**

### **CHEKCLIST OBSERVACIÓN Y CONDICIONES INICIALES DEL PUESTO DE TRABAJO PARA APLICACIÓN DEL SISTEMA**

☞ Figura C-1 Cheklist para donde se realizará soldadura y corte de metales. [7]

☞ Figura C-2 Cheklist para donde se realizará corte de metales.[7]



## Annex B (Informative)

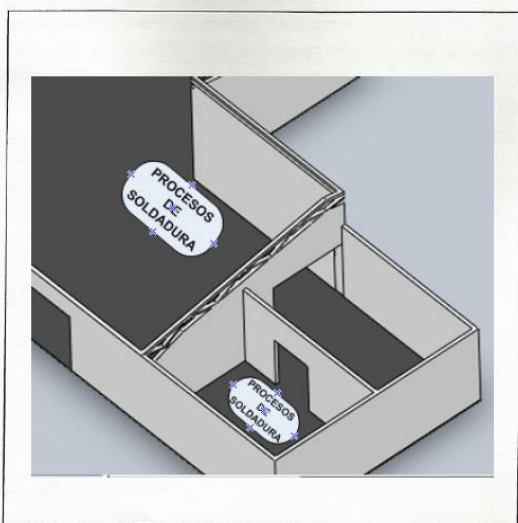
### Observing the Workplace: A Checklist

This annex is not a part of AWS F1.3M:2006, *A Sampling Strategy Guide for Evaluating Contaminants in the Welding Environment*, but is included for informational purposes only.

The checklist should be used in conjunction with Clause 5, and is numbered accordingly.

#### B5.1 Location

##### B5.1.1 Diagram of Welding Area



B5.1.2 Is the area confined or constrained? CONSTRAINED

B5.1.3 Welding area 328.65 (m<sup>2</sup>)

and volume 657.3 (m<sup>3</sup>)

B5.1.4 Number of welders in work area 8

B5.1.5 Barriers obstructing ventilation in workplace being monitored 2

B5.1.6 Solvent sources present in area NO

#### B5.2 Process Factors

B5.2.1 Process(es) used CUTTING & WELDING

B5.2.2 Consumables and size used ELECTRODES, WIRE 2 - 4 mm

Shielding Gas (composition and flow rate) AGA MIX 20/AR/CO2 12 - 24 L/min

B5.2.3 Welding conditions: current 75 - 150 A  
volts 22-24 V polarity + / - welding position 1G/2G/3G/4G  
1F/2F/3F/4F

B5.2.4 Base metal used STEEL, ALUMINIUM  
Not known ASTM A 36, ASTM A53 GRADE B

B5.2.5 Coatings present on base metal or residue from cleaning solution YES, PAINTING

#### B5.3 Human Factors

##### B5.3.1 Work Practices and Regimes

B5.3.1.1 Is job repetitive? ☒ Yes ☐ No

B5.3.1.2 Is work done at constant rate?

☒ Yes ☐ No

If yes, maximum arc time 5 H

If no, is more work done during the

☐ morning ☐ afternoon

B5.3.1.3 Arc time 5 H

##### B5.3.2 Posture of Welder with Respect to the Weld

B5.3.2.1 Positions self in the plume? ☐ Yes ☒ No

B5.3.2.2 Leans away from the plume? ☐ Yes ☒ No

##### B5.3.3 Worker Input

B5.3.3.1 Do workers in specific area or tasks complain of exposures? ☒ Yes ☐ No

**B5.3.3.2** Do personnel records indicate high turn-over or absenteeism in certain jobs? ☐ Yes ☒ No

#### B5.4 Protective Equipment

**B5.4.1** Is a helmet or face shield used? ☒ Yes ☐ No

If yes, type \_\_\_\_\_ design CURVES UNDER CHIN  
e.g., curves under chin, straight, etc.

**B5.4.2** Is respiratory protection used? ☒ Yes ☐ No

If yes, type \_\_\_\_\_ design MASK

**B5.4.3** Is there a respiratory protection program?

☐ Yes ☒ No

#### B5.5 Engineering Controls

##### B5.5.1 Mechanical Ventilation

**B5.5.1.1** Type? General (dilution) SI \_\_\_\_\_ Local NO \_\_\_\_\_

**B5.5.1.2** If general, rate is \_\_\_\_\_ (m<sup>3</sup>/hr)

**B5.5.1.3** If local, type \_\_\_\_\_

Location (and distance) with respect to arc \_\_\_\_\_

Is its relationship to the arc controlled by the welder or the equipment? \_\_\_\_\_

Exhaust rate? \_\_\_\_\_

Location of exhaust (outside, inside the welding area?) \_\_\_\_\_

#### B5.5.2 Air Movement and Air Movers

**B5.5.2.1** Is natural air movement occurring?

☒ Yes ☐ No

If yes, direction of air movement relative to welder's breathing zone \_\_\_\_\_

velocity \_\_\_\_\_ source \_\_\_\_\_

**B5.5.2.2** Are cooling fans being used?

☐ Yes ☒ No

If yes, position relative to the welder \_\_\_\_\_

Does their position change during welding?

☒ Yes ☐ No

If so, how ACCORDING TO WORK \_\_\_\_\_

##### B5.5.2.3 Air Makeup Units

Location relative to welder and any exhaust vents \_\_\_\_\_

Direction air moved relative to welder(s) OVERPRESSURE \_\_\_\_\_

#### B5.6 Environmental Conditions

Date of Sampling SEPTEMBER 16, 2010 \_\_\_\_\_

Time of Sampling: From 8:00 \_\_\_\_\_ To 16:00 \_\_\_\_\_

Temperature 20-35 C \_\_\_\_\_ Relative Humidity 58 - 75 % \_\_\_\_\_

#### B5.7 Person(s) Performing Sampling

HENRY CARRILLO & INDUSTRIAL SAFETY SUPERVISOR

Figura C-1 Cheklist para donde se realizará soldadura y corte de metales. [7]

## Annex B (Informative)

### Observing the Workplace: A Checklist

This annex is not a part of AWS F1.3M:2006, *A Sampling Strategy Guide for Evaluating Contaminants in the Welding Environment*, but is included for informational purposes only.

The checklist should be used in conjunction with Clause 5, and is numbered accordingly.

#### B5.1 Location

##### B5.1.1 Diagram of Welding Area



B5.1.2 Is the area confined or constrained? CONSTRAINED

B5.1.3 Welding area 24 (m<sup>2</sup>)  
and volume 48 (m<sup>3</sup>)

B5.1.4 Number of welders in work area 2

B5.1.5 Barriers obstructing ventilation in workplace being monitored 2

B5.1.6 Solvent sources present in area NO

#### B5.2 Process Factors

B5.2.1 Process(es) used CUTTING

B5.2.2 Consumables and size used OXYGEN / ACETYLENE

Shielding Gas (composition and flow rate) 12 - 30 L/min

B5.2.3 Welding conditions: current -----  
volts 22-24 V polarity ----- welding position -----

B5.2.4 Base metal used STEEL, ALUMINIUM  
Not known ASTM A 36, ASTM A53 GRADE B

B5.2.5 Coatings present on base metal or residue from cleaning solution YES, PAINTING

#### B5.3 Human Factors

##### B5.3.1 Work Practices and Regimes

B5.3.1.1 Is job repetitive? ☒ Yes ☐ No

B5.3.1.2 Is work done at constant rate?

☒ Yes ☐ No

If yes, maximum arc time 6 H

If no, is more work done during the

☐ morning ☐ afternoon

B5.3.1.3 Arc time 5 H

##### B5.3.2 Posture of Welder with Respect to the Weld

B5.3.2.1 Positions self in the plume? ☐ Yes ☒ No

B5.3.2.2 Leans away from the plume? ☐ Yes ☒ No

##### B5.3.3 Worker Input

B5.3.3.1 Do workers in specific area or tasks complain of exposures? ☒ Yes ☐ No



**B5.3.3.2** Do personnel records indicate high turn-over or absenteeism in certain jobs? ☒ Yes ☐ No

#### B5.4 Protective Equipment

**B5.4.1** Is a helmet or face shield used? ☒ Yes ☐ No

If yes, type \_\_\_\_\_ design CURVES UNDER CHIN  
e.g. curves under chin, straight, etc.

**B5.4.2** Is respiratory protection used? ☒ Yes ☐ No

If yes, type \_\_\_\_\_ design MASK

**B5.4.3** Is there a respiratory protection program?

☐ Yes ☒ No

#### B5.5 Engineering Controls

##### B5.5.1 Mechanical Ventilation

**B5.5.1.1** Type? General (dilution) SI Local NO

**B5.5.1.2** If general, rate is \_\_\_\_\_ (m<sup>3</sup>/hr)

**B5.5.1.3** If local, type \_\_\_\_\_

Location (and distance) with respect to arc \_\_\_\_\_

Is its relationship to the arc controlled by the welder or the equipment? \_\_\_\_\_

Exhaust rate? \_\_\_\_\_

Location of exhaust (outside, inside the welding area?) \_\_\_\_\_

#### B5.5.2 Air Movement and Air Movers

**B5.5.2.1** Is natural air movement occurring?

☒ Yes ☐ No

If yes, direction of air movement relative to welder's breathing zone \_\_\_\_\_

velocity \_\_\_\_\_ source \_\_\_\_\_

**B5.5.2.2** Are cooling fans being used?

☐ Yes ☒ No

If yes, position relative to the welder \_\_\_\_\_

Does their position change during welding?

☒ Yes ☐ No

If so, how ACCORDING TO WORK \_\_\_\_\_

##### B5.5.2.3 Air Makeup Units

Location relative to welder and any exhaust vents \_\_\_\_\_

Direction air moved relative to welder(s) OVERPRESSURE

#### B5.6 Environmental Conditions

Date of Sampling SEPTEMBER 16, 2010 \_\_\_\_\_

Time of Sampling: From 8:00 To 16:00

Temperature 20-35 °C Relative Humidity 58 - 75 %

#### B5.7 Person(s) Performing Sampling

HENRY CARRILLO & INDUSTRIAL SAFETY SUPERVISOR

Figura C-2 Cheklist para donde se realizará corte de metales.[7]

## **APÉNDICE D**

**NORMA DE CALIDAD DE AIRE AMBIENTE – Libro VI Anexo 4 [8]**



## 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

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 periodos 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.

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

Es la presencia de altas concentraciones de contaminantes comunes del aire y por periodos 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<sub>2.5</sub> al material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2,5 micrones. Se designa como PM<sub>10</sub> 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)**

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.
- 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<sub>10</sub>.

Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 (dos enteros cinco décimos) micrones. Se abrevia PM<sub>2,5</sub>.

Óxidos de Nitrógeno: NO y NO<sub>2</sub>, y expresados como NO<sub>2</sub>.

Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>.



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 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.

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 ( $80 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos por metro cúbico ( $350 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ), 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 ( $10\,000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) 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 ( $40\,000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) 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 ( $160 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ), 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 ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), más de una vez en un año.

Óxidos de nitrógeno, expresados como  $\text{NO}_2$ .- El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como  $\text{NO}_2$ , y determinada en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 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  $25^\circ\text{C}$  y  $760 \text{ mm Hg}$ .

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:

$$Cc = Co * \frac{760 \text{ mmHg}}{Pbl \text{ mmHg}} * \frac{(273 + t^\circ\text{C})^\circ K}{298^\circ K}$$

donde:

$Cc$ : concentración corregida

$Co$ : concentración observada

$Pbl$ : presión atmosférica local, en milímetros de mercurio.

$t^\circ\text{C}$ : temperatura local, en grados centígrados.

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

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 $\text{NO}_2$        |        |        |            |
| 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 $\text{PM}_{10}$          |        |        |            |
| 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  $25^\circ\text{C}$  y  $760 \text{ mm Hg}$ .

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 encontrase 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 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 |             | <b>Nombre:</b> Método Gravimétrico, mediante Captación de Partículas en Envases Abiertos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                          |             | <b>Referencia:</b> Method 502. Methods of Air Sampling and Analysis, 3rd. Edition, Intersociety Committee, Lewis Publishers, Inc. 1988.<br><br><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.<br>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 solubles 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. |
| Material PM10            | Particulado | <b>Nombre:</b> Método Gravimétrico, mediante muestreador de alto caudal o de bajo caudal.<br><br><b>Referencia:</b> 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix M.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Continúa...

...Continuación

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 se describió para material particulado PM10.</p>                                                                                                                                                                                                                            |
| Dióxido de Azufre          |  | <p><b>Nombre:</b><br/>Método de la Pararosanilina: absorción en medio líquido y análisis colorimétrico posterior.<br/>Analizador Continuo por Fluorescencia.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

Continúa...

...Continuación

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

| CONTAMINANTE                                     | NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Monóxido de Carbono                              | <p>Referencias:<br/> Método de la Pararosanilina: 40 CFR Part 50, Appendix A.<br/> 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> <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<br>Fotoquímicos (como O <sub>3</sub> ) | <p><b>Nombre:</b><br/> Quimiluminiscencia<br/> 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>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Continúa...

...Continuación

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

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

## **APÉNDICE E**

**NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE  
COMBUSTIÓN – Libro VI Anexo 3 [9]**





## PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

### NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE COMBUSTION

#### LIBRO VI ANEXO 3

#### 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 límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para emisiones de contaminantes del aire hacia la atmósfera desde fuentes fijas de combustión.
- Los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las cantidades emitidas de contaminantes del aire desde fuentes fijas de combustión.

#### 1 OBJETO

La presente norma tiene como objetivo principal el preservar o conservar 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 permisibles de emisiones al aire desde diferentes actividades. La norma provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las emisiones al aire que se verifiquen desde procesos de combustión en fuentes fijas. Se provee también de herramientas de gestión destinadas a promover el cumplimiento con los valores de calidad de aire ambiente establecidos en la normativa pertinente.

#### 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 Celda electroquímica

Parte del sistema de medición de emisiones, mediante analizador portátil de gases, que mide el gas de interés y genera una salida proporcional a la concentración de dicho gas.

##### 2.3 Chimenea

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

##### 2.4 Combustión

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.



## **2.5 Combustibles fósiles**

Son aquellos hidrocarburos encontrados en estado natural, ejemplos, petróleo, carbón, gas natural, y sus derivados.

## **2.6 Combustibles fósiles sólidos**

Se refiere a las variedades de carbón mineral cuyo contenido fijo de carbono varía desde 10% a 90% en peso, y al coque de petróleo.

## **2.7 Combustibles fósiles líquidos**

Son aquellos derivados del petróleo, tales como petróleo crudo, diesel, búnker, kerosene, naftas.

## **2.8 Combustibles fósiles gaseosos**

Son aquellos derivados del petróleo o del gas natural, tales como butano, propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones.

## **2.9 Condiciones normales**

Cero grados centígrados (0 °C) y mil trece milibares de presión (1 013 mbar).

## **2.10 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.

## **2.11 Contaminantes comunes del aire**

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

## **2.12 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.

## **2.13 Diámetro equivalente**

Para un conducto o chimenea de sección cuadrada, se define con la siguiente expresión:

$$De = \frac{2LW}{(L + W)}$$

donde  $L$  es la longitud y  $W$  el ancho de la sección interior del conducto o chimenea, en contacto efectivo con la corriente de gases.

## **2.14 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.

## **2.15 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.

#### **2.16 Fuente fija existente**

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones ya sea en operación o que cuenta con autorización para operar, por parte de la Entidad Ambiental de Control, antes de Enero de 2003.

#### **2.17 Fuente fija nueva**

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones que ingrese en operación a partir de Enero de 2003.

#### **2.18 Fuente fija modificada**

Se entiende a aquella fuente fija existente que experimenta un incremento en su capacidad operativa y que implica mayores emisiones.

#### **2.19 ISO**

Organización Internacional para la Normalización.

#### **2.20 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.

#### **2.21 Línea de muestreo**

Es el eje en el plano de muestreo a lo largo del cual se localiza los puntos de medición, y está limitada por la pared interna de la chimenea o conducto.

#### **2.22 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.

#### **2.23 Mejor tecnología de control disponible (BACT por sus siglas en inglés)**

Limitación de emisiones al aire basada en el máximo grado de reducción de emisiones, considerando aspectos de energía, ambientales y económicos, alcanzable mediante la aplicación de procesos de producción y métodos, sistemas y técnicas disponibles.

#### **2.24 Micrón**

Millonésima parte de un metro.

#### **2.25 Mínima tasa de emisión posible (LAER por sus siglas en inglés)**

Es la tasa de emisión desde una fuente fija que refleja la limitación de la mayor exigencia en emisiones alcanzable en la práctica.

#### **2.26 Modelo de dispersión**

Técnica de investigación que utiliza una representación matemática y física de un sistema, en este caso el sistema consiste de una o varias fuentes fijas de emisión, de las condiciones meteorológicas y topográficas de la región, y que se utiliza para predecir la(s) concentración(es) resultante(s) de uno o más contaminantes emitidos desde, ya sea una fuente fija específica o desde un grupo de dichas fuentes. La predicción de concentraciones de contaminantes, a nivel de suelo, para el caso de una o varias fuentes fijas, se especificará para receptores situados al exterior del límite del predio del propietario u operador de la(s) fuente (s) evaluadas.

## **2.27 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.

## **2.28 Muestreo isocinético**

Es el muestreo en el cual la velocidad y dirección del gas que entra en la zona del muestreo es la misma que la del gas en el conducto o chimenea.

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

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

## **2.30 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 máximos permisibles se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados.

## **2.31 Norma de emisión**

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

## **2.32 Opacidad**

Grado de reducción de luminosidad que ocasiona una sustancia al paso por ella de la luz visible.

## **2.33 Partículas Totales**

Para efectos de emisiones desde fuentes de combustión, se designa como partículas totales al material particulado que es captado en un sistema de muestreo similar en características al descrito en el método 5 de medición de emisiones de partículas, publicado por la US EPA.

## **2.34 Puerto de muestreo**

Son los orificios circulares que se hacen en las chimeneas o conductos para facilitar la introducción de los elementos necesarios para mediciones y toma de muestras.

## **2.35 Puntos de medición**

Son puntos específicos, localizados en las líneas de muestreo, en los cuales se realizan las mediciones y se extrae la muestra respectiva.

## **2.36 US EPA**

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

# **3 CLASIFICACIÓN**

Esta norma establece los límites máximos permisibles, tanto de concentraciones de contaminantes comunes, a nivel del suelo, en el aire ambiente, como de contaminantes emitidos desde fuentes fijas de combustión. La norma establece la presente clasificación:

1. Límites permisibles de emisión de contaminantes al aire desde combustión en fuentes fijas.
2. Métodos y equipos de medición de emisiones desde fuentes fijas de combustión.
3. Límites permisibles de emisión de contaminantes al aire para procesos productivos:
  - a. Límites permisibles de emisión desde procesos de elaboración de cemento.



- b. Límites permisibles de emisión desde procesos de elaboración de envases de vidrio.
- c. Límites permisibles de emisión desde procesos de elaboración de pulpa de papel.
- d. Límites permisibles de emisión desde procesos de fundición de metales ferrosos.
- e. Normas de emisión desde combustión de bagazo en equipos de combustión de instalaciones de elaboración de azúcar.
- f. Límites permisibles de emisión desde motores de combustión interna.

## 4 REQUISITOS

### 4.1 De los límites permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión

#### 4.1.1 De las fuentes fijas significativas de emisiones al aire

4.1.1.1 Para la aplicación de la presente norma técnica, se definen fuentes fijas significativas y fuentes fijas no significativas, de emisiones al aire por proceso de combustión.

4.1.1.2 Serán designadas como fuentes fijas significativas todas aquellas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos, gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones, y cuya potencia calorífica (*heat input*) sea igual o mayor a tres millones de vatios ( $3 \times 10^6$  W), o, diez millones de unidades térmicas británicas por hora ( $10 \times 10^6$  BTU/h).

4.1.1.3 Para las fuentes fijas que se determinen como fuentes significativas, éstas deberán demostrar cumplimiento con los límites máximos permisibles de emisión al aire, definidos en esta norma técnica, en sus Tablas 1 y 2, según se corresponda. Para esto, la fuente deberá efectuar mediciones de la tasa actual de emisión de contaminantes. Si los resultados fuesen superiores a los valores máximos permisibles de emisión, la fuente fija deberá entonces establecer los métodos o los equipos de control necesarios para alcanzar cumplimiento con los valores máximos de emisión estipulados en esta norma.

4.1.1.4 Serán designadas como fuentes fijas no significativas todas aquellas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos, gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones, y cuya potencia calorífica (*heat input*) sea menor a tres millones de vatios ( $3 \times 10^6$  W), o, diez millones de unidades térmicas británicas por hora ( $10 \times 10^6$  BTU/h). Estas fuentes fijas de combustión no estarán obligadas a efectuar mediciones de sus emisiones actuales, y deberán proceder según se indica en el siguiente artículo.

4.1.1.5 Las fuentes fijas no significativas, aceptadas como tal por parte de la Entidad Ambiental de Control, demostrarán cumplimiento con la normativa mediante alguno de los siguientes métodos:

- a. El registro interno, y disponible ante la Entidad Ambiental de Control, del seguimiento de las prácticas de mantenimiento de los equipos de combustión, acordes con los programas establecidos por el operador o propietario de la fuente, o recomendados por el fabricante del equipo de combustión;
- b. resultados de análisis de características físicas y químicas del combustible utilizado, en particular del contenido de azufre y nitrógeno en el mismo;
- c. la presentación de certificados por parte del fabricante del equipo de combustión en cuanto a la tasa esperada de emisiones de contaminantes, en base a las características del combustible utilizado.
- d. mediante inspección del nivel de opacidad de los gases de escape de la fuente;
- e. mediante el uso de altura de chimenea recomendada por las prácticas de ingeniería;
- f. otros que se llegaren a establecer.

4.1.1.6 Para la verificación de cumplimiento por parte de una fuente fija no significativa con alguno de los métodos descritos, el operador u propietario de la fuente deberá mantener los debidos registros o certificados, a fin de reportar a la Entidad Ambiental de Control con una frecuencia de una vez por año.

4.1.1.7 No obstante de lo anterior, las fuentes fijas no significativas podrán ser requeridas, por parte de la Entidad Ambiental de Control, de efectuar evaluaciones adicionales de sus emisiones, en el caso de que estas emisiones excedan o comprometan las concentraciones máximas permitidas, a nivel del suelo, de contaminantes del aire. Estas últimas concentraciones de contaminantes en el aire ambiente se encuentran definidas en la norma correspondiente a calidad de aire.

4.1.1.8 Las fuentes fijas no significativas deberán someter, a consideración de la Entidad Ambiental de Control, los planos y especificaciones técnicas de sus sistemas de combustión, esto como parte de los procedimientos normales de permiso de funcionamiento.

#### 4.1.2 Valores máximos permisibles de emisión

4.1.2.1 Los valores de emisión máxima permitida, para fuentes fijas de combustión existentes, son los establecidos en la Tabla 1 de esta norma.

**Tabla 1. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma para fuentes en operación antes de Enero de 2003**

| CONTAMINANTE EMITIDO | COMBUSTIBLE UTILIZADO  | VALOR        | UNIDADES <sup>[1]</sup> |
|----------------------|------------------------|--------------|-------------------------|
| Partículas Totales   | Sólido                 | 355          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 355          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | No Aplicable | No Aplicable            |
| Óxidos de Nitrógeno  | Sólido                 | 1 100        | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 700          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | 500          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
| Dióxido de Azufre    | Sólido                 | 1 650        | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 1 650        | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | No Aplicable | No Aplicable            |

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

<sup>[2]</sup> combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosene, búnker C, petróleo crudo, naftas.

4.1.2.2 Los valores de emisión máxima permitida, para fuentes fijas de combustión nuevas, son los establecidos en la Tabla 2 de esta norma.

**Tabla 2. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma para fuentes en operación a partir de Enero de 2003**

| CONTAMINANTE EMITIDO | COMBUSTIBLE UTILIZADO  | VALOR        | UNIDADES <sup>[1]</sup> |
|----------------------|------------------------|--------------|-------------------------|
| Partículas Totales   | Sólido                 | 150          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 150          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | No Aplicable | No Aplicable            |
| Óxidos de Nitrógeno  | Sólido                 | 850          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 550          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | 400          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
| Dióxido de Azufre    | Sólido                 | 1 650        | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Líquido <sup>[2]</sup> | 1 650        | mg/Nm <sup>3</sup>      |
|                      | Gaseoso                | No Aplicable | No Aplicable            |

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/Nm<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, de mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

<sup>[2]</sup> combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosene, búnker C, petróleo crudo, naftas.

4.1.2.3 La Entidad Ambiental de Control utilizará los límites máximos permisibles de emisiones indicados en las Tablas 1 y 2 para fines de elaborar su respectiva norma (ver Reglamento a la Ley de Prevención y Control de Contaminación). La Entidad Ambiental de Control podrá establecer normas de emisión de mayor exigencia, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe indicaren dicha necesidad.

4.1.2.4 El Ministerio del Ambiente definirá la frecuencia de revisión de los valores establecidos como límite máximo permitido de emisiones al aire. De acuerdo a lo establecido en el reglamento para la prevención y control de la contaminación, se analizará la conveniencia de unificar los valores de emisión para fuentes en operación antes de Enero de 2003 y posteriores a esta fecha. La revisión deberá considerar, además, las bases de datos de emisiones, así como de los datos de concentraciones de contaminantes en el aire ambiente, efectúe la Entidad Ambiental de Control.



#### 4.1.3 Del cumplimiento con la normativa de emisiones máximas permitidas

4.1.3.1 Las fuentes fijas de emisiones al aire por combustión, existentes a la fecha de promulgación de esta norma técnica, dispondrán de plazos, a ser fijados mediante acuerdo entre el propietario u operador de la fuente fija y la Entidad Ambiental de Control, a fin de adecuar la emisión de contaminantes a niveles inferiores a los máximos permisibles. El otorgamiento de estos plazos queda supeditado, en cada caso, a los estudios y evaluaciones que realice la Entidad Ambiental de Control. En ningún caso estos plazos serán mayores a cinco años, de acuerdo a lo establecido en el reglamento.

4.1.3.2 Dentro de los términos que especifiquen las respectivas reglamentaciones, todas las fuentes fijas deberán obtener su respectivo permiso de funcionamiento, el cual será renovado con la periodicidad que determine la Entidad Ambiental de Control. Esta última queda también facultada para fijar las tasas que correspondan por la retribución del servicio.

4.1.3.3 Esquema Burbuja.- de existir varias fuentes fijas de emisión, bajo la responsabilidad sea de un mismo propietario y/o de un mismo operador, y al interior de una misma región, la emisión global de las fuentes podrá calcularse mediante una fórmula que pondere las fuentes fijas presentes en la instalación. Se establece la siguiente fórmula:

$$E_{global} = \frac{A_1 * E_1 + A_2 * E_2 + \dots + A_i * E_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i}$$

donde:

$E_{global}$ : tasa de emisión global para el conjunto de fuentes fijas de combustión,

$A_i$  factor de ponderación, y que puede ser el consumo de combustible de la fuente número  $i$ , o el caudal de gases de combustión de la respectiva fuente número  $i$ ,

$E_i$ : tasa actual de emisión determinada para cada fuente.

El resultado a obtenerse con la ecuación indicada, y que representa el equivalente ponderado para un grupo de fuentes fijas de combustión, deberá ser comparado con el valor máximo de emisión permitida descrito en esta normativa, resultado equivalente para una sola fuente fija de combustión.

#### 4.1.4 Fuentes fijas de combustión existentes, nuevas y modificadas

4.1.4.1 Toda fuente fija de combustión, que experimente una remodelación, una modificación sustancial de la misma, o un cambio total o parcial de combustible, deberá comunicar a la Entidad Ambiental de Control este particular. Para el caso de una fuente fija significativa, se deberá comunicar además una evaluación de las emisiones esperadas una vez que el proyecto de remodelación o modificación culmine.

4.1.4.2 Las fuentes fijas significativas nuevas, o fuentes existentes remodeladas o modificadas sustancialmente, como parte integral del estudio de impacto ambiental requerido, deberán evaluar su impacto en la calidad del aire mediante el uso de modelos de dispersión. Las fuentes existentes, significativas, deberán también proceder a evaluar su impacto en la calidad del aire mediante modelos de dispersión, esto de ser requerido en los estudios de auditoría ambiental o de estudio de impacto ambiental expost. El modelo de dispersión calculará la concentración esperada de contaminantes del aire a nivel del suelo, que se espera sean emitidos desde las fuentes fijas nuevas, y se procederá a determinar si estas concentraciones calculadas cumplen o no con la norma de calidad de aire. Para efectos de determinación de cumplimiento con la norma, la concentración calculada para cada contaminante del aire evaluado, atribuible a la operación de las fuentes fijas nuevas, deberá ser adicionada a la concentración existente de cada contaminante, según se describe en el siguiente artículo.

4.1.4.3 Una fuente fija nueva, remodelada o modificada, y que se determine como significativa, deberá establecer aquellos contaminantes emitidos por la misma, que son significativos para con la calidad del aire ambiente. Para tal efecto se utilizará un modelo de dispersión de tipo preliminar, ejemplo SCREEN, de la US EPA, mediante el cual se verificará si las concentraciones calculadas por este modelo, para cada contaminante modelado, sobrepasan o no los valores estipulados en la Tabla 3. Si la predicción mediante modelo indica que la concentración de un contaminante supera el valor presentado en la Tabla 3, entonces aquel contaminante se designa como significativo para la fuente. La Entidad Ambiental de Control solicitará que la fuente proceda a la aplicación de un modelo detallado, únicamente para los contaminantes significativos que se determinen. Eventualmente, la Entidad Ambiental de Control implementará programas de mediciones de concentraciones, a nivel de suelo, de los contaminantes significativos, una vez que la fuente ingrese en operación.

**Tabla 3. Valores de incremento de concentración de contaminantes comunes, a nivel del suelo, para definición de contaminantes significativos <sup>[1]</sup>**

| Contaminante / Período de Tiempo  | Criterio de Significancia, expresado en microgramos por metro cúbico de aire |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Óxidos de Nitrógeno NOx           |                                                                              |
| Anual                             | 1,0                                                                          |
| Dióxido de Azufre SO <sub>2</sub> |                                                                              |
| Anual                             | 1,0                                                                          |
| 24-Horas                          | 5,0                                                                          |
| 3-Horas                           | 25,0                                                                         |
| Partículas                        |                                                                              |
| Anual                             | 1,0                                                                          |
| 24-Horas                          | 5,0                                                                          |

Nota:

<sup>[1]</sup> Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y de 1 013 milibares de presión.

4.1.4.4 La fuente fija significativa, nueva, remodelada o modificada sustancialmente, acordará con la Entidad Ambiental de Control la inclusión o no, dentro de la evaluación mediante modelo de dispersión, de otras fuentes fijas existentes en la región en que se instalará la fuente nueva, o en que se ubica la fuente modificada o remodelada. El estudio de impacto ambiental, requerido por la fuente como parte de los permisos de operación, establecerá cuáles fuentes fijas existentes deberán ser incluidas en el modelo de dispersión a aplicarse. La Entidad Ambiental de Control deberá proveer, a la fuente nueva, de los resultados de las bases de datos administradas por la misma, esto es, bases de datos de emisiones de fuentes fijas significativas existentes, y, bases de datos de los niveles de concentraciones de contaminantes en el aire ambiente. El área de influencia, sea de una sola fuente nueva evaluada, o del conjunto de varias fuentes, se determinará mediante el trazado de la curva de igual concentración para todos los contaminantes que sobrepasen los valores establecidos en la Tabla 3.

4.1.4.5 De tratarse de una o varias fuentes fijas nuevas significativas, o varias fuentes existentes modificadas, la evaluación deberá efectuarse mediante un modelo de dispersión del tipo detallado, con capacidad para incluir diferentes fuentes fijas, y con capacidad de predecir concentraciones de contaminantes para periodos de tiempo mayores a una hora, e inclusive, de predecir la concentración anual de un determinado contaminante. Para esto, se utilizará un modelo de dispersión de características técnicas similares a ISC, de la US EPA. Para efectuar predicciones de concentraciones de contaminantes por periodos de hasta un año, el modelo de tipo detallado requerirá el uso de datos meteorológicos hora por hora, y de extensión también de un año. La fuente fija significativa evaluará su impacto en la calidad del aire previa revisión de los datos meteorológicos, hora por hora, de los últimos tres años, como mínimo, previos a la etapa de proyecto de la nueva fuente. Los datos meteorológicos a utilizarse deberán ser representativos para la ubicación geográfica de la fuente fija a evaluarse. El uso de un modelo de dispersión del tipo detallado se extenderá también para el caso de un conjunto de fuentes fijas nuevas, o fuentes existentes remodeladas o modificadas, que estuvieren bajo la responsabilidad de una misma organización u operador, y en que se determine que la emisión global de dicho conjunto de fuentes (artículo 4.1.3.3) es significativa.

4.1.4.6 Las fuentes fijas nuevas significativas, a instalarse en las inmediaciones de áreas que se designen como protegidas, tales como parques nacionales, reservas de fauna, bosques protectores, entre otros, que se encuentren debidamente designados por la Entidad Ambiental de Control, deberán solicitar a esta autoridad la ejecución de un programa de monitoreo inicial de concentraciones de contaminantes del aire a nivel de suelo, previo al inicio de operaciones de la fuente o fuentes, en uno o más sitios designados al interior de dichas áreas protegidas. El estudio de impacto ambiental que ejecute la fuente fija nueva, determinará el número y ubicación del sitio, o los sitios, de medición de concentraciones de contaminantes del aire. El programa de monitoreo inicial incluirá, como mínimo, la determinación de concentraciones de óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, y material particulado PM<sub>10</sub>. Los resultados de este programa permitirán determinar las concentraciones iniciales de contaminantes en ausencia de la nueva fuente, lo cual además permitirá establecer, a futuro, el nivel de cumplimiento con las normas de calidad de aire una vez que la fuente fija ingrese en operación.

4.1.4.7 Todas las fuentes fijas nuevas, significativas o no, a instalarse en áreas cuyas concentraciones a nivel de suelo cumplen con la norma de calidad de aire ambiente, estarán obligadas a hacer uso de la denominada Mejor Tecnología de Control Disponible (BACT por sus siglas en inglés), lo cual deberá ser justificado en el estudio ambiental a presentarse ante la Entidad Ambiental de Control. Las emisiones que se obtengan en la fuente que utilice tecnología BACT no deberán ser mayores en magnitud a los valores aplicables para una fuente existente.



4.1.4.8 Las fuentes fijas nuevas no podrán instalarse en un área en que las concentraciones de contaminantes comunes del aire ambiente no se encuentren en cumplimiento con la norma de calidad aquí estipulada, o, en aquellas áreas en que dichas concentraciones de contaminantes se encuentren cerca de incumplimiento. Para ser autorizadas a su instalación, en áreas en no cumplimiento con la norma de calidad de aire, las fuentes fijas nuevas utilizarán la denominada tecnología de Mínima Tasa de Emisión Posible (LAER por sus siglas en inglés), o en su lugar, cuando estas fuentes nuevas reemplacen a una o varias fuentes fijas existentes pero garantizando un estándar de emisión (cantidad de contaminante emitido) y un estándar de desempeño (cantidad de contaminante emitido por unidad de combustible utilizado) considerablemente menor al de la o las fuentes a ser reemplazadas. La Entidad Ambiental de Control deberá emitir la autorización correspondiente para ejecutar este esquema de operación para una fuente nueva. Un esquema similar al descrito se aplicará para fuentes existentes pero modificadas o remodeladas sustancialmente.

4.1.4.9 El estudio ambiental para una fuente fija nueva, en un área en no cumplimiento con la norma de calidad de aire ambiente, justificará las tecnologías o métodos que implementará la fuente fija a fin de alcanzar la mínima tasa de emisión, y por tanto, no inducir a un incumplimiento con la norma de calidad de aire, o mejorar en términos absolutos la calidad del aire ambiente de la región.

4.1.4.10 Las fuentes fijas nuevas significativas determinarán la altura apropiada de chimenea mediante la aplicación de modelos de dispersión. La altura seleccionada de chimenea deberá considerar el efecto de turbulencia creado por la presencia de edificaciones adyacentes a la chimenea, caracterizándose dicho efecto por la ocurrencia de altas concentraciones de contaminantes emitidos previamente junto a la estructura o edificación.

#### 4.1.5 Disposiciones generales

4.1.5.1 Se prohíbe expresamente la dilución de las emisiones al aire desde una fuente fija con el fin de alcanzar cumplimiento con la normativa aquí descrita.

4.1.5.2 Se prohíbe el uso de aceites lubricantes usados como combustible en calderas, hornos u otros equipos de combustión, con excepción de que la fuente fija de combustión demuestre, mediante el respectivo estudio técnico, que cuenta con equipos y procesos de control de emisiones producidas por esta combustión, a fin de no comprometer la calidad del aire al exterior de la fuente, e independientemente de si la fuente fija es significativa o no significativa. Los planos y especificaciones técnicas de la instalación, incluyendo las previsiones de uso de aceites lubricantes usados, sea como combustible principal o como combustible auxiliar, o como combinación de ambos, se sujetarán a las disposiciones de la normativa aplicable para el manejo de desechos peligrosos y de su disposición final. La Entidad Ambiental de Control emitirá el respectivo permiso de operación para las fuentes que utilicen aceites lubricantes usados como combustible, permiso que será renovado cada dos años, previo el respectivo dictamen favorable, considerando los requerimientos estipulados tanto aquí como en la normativa aplicable a desechos peligrosos y su disposición final.

4.1.5.3 Aquellas fuentes fijas que utilicen como combustible otros que no sean combustibles fósiles, serán evaluadas, en primer lugar, en base al criterio de determinar si se trata de fuentes significativas o no. Para una fuente significativa, que utilice combustibles no fósiles, tales como biomasa, se aplicarán los valores máximos de emisión descritos en este reglamento en lo referente a fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos. Para fuentes no significativas, la Entidad Ambiental de Control podrá solicitar evaluaciones adicionales tendientes a prevenir el deterioro de la calidad del aire.

4.1.5.4 Toda fuente fija, sea significativa o no, deberá comunicar a la Entidad Ambiental de Control cualquier situación anómala, no típica, que se presente en la operación normal de la fuente, y en la que se verificaron emisiones de contaminantes superiores a los valores máximos establecidos en este reglamento. Este requisito no se aplica para el caso del período de arranque de operación de la fuente, o para el caso del período de limpieza por soplado de hollín acumulado en la fuente, siempre que estos períodos no excedan quince (15) minutos y la operación no se repita más de dos veces al día. Cuando por las características de los procesos y/o de los equipos de combustión se justifique técnicamente que se requiere mayor tiempo para su arranque o limpieza con soplado de hollín, se deberá obtener la aprobación de la Entidad Ambiental de Control.

4.1.5.5 Para las fuentes fijas significativas, se requerirá que estas cuenten, por lo menos, con equipos básicos de control de emisiones de partículas, esto a fin de mitigar aquellas emisiones que se registren durante períodos de arranque o de soplado de hollín en la fuente. Los equipos básicos de control comprenden equipos tales como separadores inerciales (ciclones). Además, la Entidad Ambiental de Control podrá requerir, por parte del regulado, la instalación de equipos de control de emisiones de partículas adicionales a los equipos básicos descritos, siempre que la evaluación técnica y económica del equipo de control a ser instalado así lo determine.



4.1.5.6 Toda fuente fija significativa está obligada a presentar a la Entidad Ambiental de Control los resultados que se obtengan de los programas de medición de emisiones que deban ejecutarse. La Entidad Ambiental de Control establecerá una base de datos con las emisiones de todas las fuentes bajo su control, así como establecerá los procedimientos de mantenimiento y de control de calidad de la misma.

## **4.2 Métodos y equipos de medición de emisiones desde fuentes fijas de combustión**

### **4.2.1 General**

4.2.1.1 Para demostración de cumplimiento con la presente norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión, los equipos, métodos y procedimientos de medición de emisiones deberán cumplir requisitos técnicos mínimos, establecidos a continuación. Además, la fuente fija deberá proveer de requisitos técnicos mínimos que permitan la ejecución de las mediciones.

### **4.2.2 Requisitos y métodos de medición**

4.2.2.1 A fin de permitir la medición de emisiones de contaminantes del aire desde fuentes fijas de combustión, estas deberán contar con los siguientes requisitos técnicos mínimos:

- a. plataforma de trabajo, con las características descritas en la figura 1 (Anexo),
- b. escalera de acceso a la plataforma de trabajo,
- c. suministro de energía eléctrica cercano a los puertos de muestreo.

4.2.2.2 Método 1: definición de puertos de muestreo y de puntos de medición en chimeneas.- este método provee los procedimientos para definir el número y ubicación de los puertos de muestreo, así como de los puntos de medición al interior de la chimenea.

4.2.2.3 Número de puertos de muestreo.- el número de puertos de muestreo requeridos se determinará de acuerdo al siguiente criterio:

- a. dos (2) puertos para aquellas chimeneas o conductos de diámetro menor 3,0 metros,
- b. cuatro (4) puertos para chimeneas o conductos de diámetro igual o mayor a 3,0 metros.

4.2.2.4 Para conductos de sección rectangular, se utilizará el diámetro equivalente para definir el número y la ubicación de los puertos de muestreo.

4.2.2.5 Ubicación de puertos de muestreo.- los puertos de muestreo se colocarán a una distancia de, al menos, ocho diámetros de chimenea corriente abajo y dos diámetros de chimenea corriente arriba de una perturbación al flujo normal de gases de combustión (ver figura 1, Anexo). Se entiende por perturbación cualquier codo, contracción o expansión que posee la chimenea o conducto. En conductos de sección rectangular, se utilizará el mismo criterio, salvo que la ubicación de los puertos de muestreo se definirá en base al diámetro equivalente del conducto.

4.2.2.6 Número de puntos de medición.- cuando la chimenea o conducto cumpla con el criterio establecido en 4.2.2.5, el número de puntos de medición será el siguiente:

- a. doce (12) puntos de medición para chimeneas o conductos con diámetro, o diámetro equivalente, respectivamente, mayor a 0,61 metros,
- b. ocho (8) puntos de medición para chimeneas o conductos con diámetro, o diámetro equivalente, respectivamente, entre 0,30 y 0,60 metros, y,
- c. nueve (9) puntos de medición para conductos de sección rectangular con diámetro equivalente entre 0,30 y 0,61 metros.

4.2.2.7 Para el caso de que una chimenea no cumpla con el criterio establecido en 4.2.2.5, el número de puntos de medición se definirá de acuerdo con la figura 2 (Anexo). Al utilizar esta figura, se determinarán las distancias existentes tanto corriente abajo como corriente arriba de los puertos de muestreo, y cada una de estas distancias será dividida para el diámetro de la chimenea o conducto, esto a fin de determinar las distancias en función del número de diámetros. Se seleccionará el mayor número de puntos de medición indicado en la figura, de forma tal que, para una chimenea de sección circular, el número de puntos de medición sea múltiplo de cuatro. En cambio, para una chimenea de sección rectangular, la distribución de puntos de medición se definirá en base a la siguiente matriz (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de puntos de medición para una chimenea o conducto de sección rectangular

| NUMERO DE PUNTOS DE MEDICIÓN | DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS |
|------------------------------|------------------------|
| 9                            | 3 x 3                  |
| 12                           | 4 x 3                  |
| 16                           | 4 x 4                  |
| 20                           | 5 x 4                  |
| 25                           | 5 x 5                  |
| 30                           | 6 x 5                  |
| 36                           | 6 x 6                  |
| 42                           | 7 x 6                  |
| 49                           | 7 x 7                  |

4.2.2.8 Ubicación de los puntos de medición en chimeneas de sección circular.- determinado el número de puntos de medición, los puntos se deberán distribuir, en igual número, a lo largo de dos diámetros perpendiculares entre sí, que estén en el mismo plano de medición al interior de la chimenea o conducto. La ubicación exacta de cada uno de los puntos, a lo largo de cada diámetro, se determinará según la Tabla 5.

4.2.2.9 Ubicación de los puntos de medición en chimeneas de sección rectangular.- para el número de puntos de medición determinado, se dividirá la sección transversal de la chimenea o conducto en un número de áreas rectangulares igual al número de puntos de medición determinado. Luego, cada punto de medición se ubicará en el centro de cada área rectangular definida (ver figura 3, Anexo).

4.2.2.10 Método 2: procedimiento para la determinación de la velocidad y gasto volumétrico de gases de escape en chimenea o conducto. Este método comprende:

- Uso de un tubo de Pitot, del tipo estándar o del tipo S, para medir la presión dinámica de la corriente de gases de escape.
- Medición de la temperatura del gas dentro de la chimenea.
- Barómetro para medir presión atmosférica.
- Analizador de gases para determinar el peso molecular húmedo del gas en chimenea (ver método 3).
- Cálculo de la velocidad del gas.
- Determinación del área transversal del ducto o chimenea.

Tabla 5. Ubicación de puntos de medición en chimeneas o conductos de sección circular

| Número de puntos de medición para un diámetro | Número de puntos de medición en un diámetro de chimenea |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                               | 2                                                       | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   |
| 1                                             | 14,6                                                    | 6,7  | 4,4  | 3,2  | 2,6  | 2,1  | 1,8  | 1,6  | 1,4  | 1,3  | 1,1  | 1,1  |
| 2                                             | 85,4                                                    | 25,0 | 14,6 | 10,5 | 8,2  | 6,7  | 5,7  | 4,9  | 4,4  | 3,9  | 3,5  | 3,2  |
| 3                                             |                                                         | 75,0 | 29,6 | 19,4 | 14,6 | 11,8 | 9,9  | 8,5  | 7,5  | 6,7  | 6,0  | 5,5  |
| 4                                             |                                                         | 93,3 | 70,4 | 32,3 | 22,6 | 17,7 | 14,6 | 12,5 | 10,9 | 9,7  | 8,7  | 7,9  |
| 5                                             |                                                         |      | 85,4 | 67,7 | 34,2 | 25,0 | 20,1 | 16,9 | 14,6 | 12,9 | 11,6 | 10,5 |
| 6                                             |                                                         |      | 95,6 | 80,6 | 65,8 | 35,6 | 26,9 | 22,0 | 18,8 | 16,5 | 14,6 | 13,2 |
| 7                                             |                                                         |      |      | 89,5 | 77,4 | 64,4 | 36,6 | 28,3 | 23,6 | 20,4 | 18,0 | 16,1 |
| 8                                             |                                                         |      |      | 96,8 | 85,4 | 75,0 | 63,4 | 37,5 | 29,6 | 25,0 | 21,8 | 19,4 |
| 9                                             |                                                         |      |      |      | 91,8 | 82,3 | 73,1 | 62,5 | 38,2 | 30,6 | 26,2 | 23,0 |
| 10                                            |                                                         |      |      |      | 97,4 | 88,2 | 79,9 | 71,7 | 61,8 | 38,8 | 31,5 | 27,2 |
| 11                                            |                                                         |      |      |      |      | 93,3 | 85,4 | 78,0 | 70,4 | 61,2 | 39,3 | 32,3 |
| 12                                            |                                                         |      |      |      |      | 97,9 | 90,1 | 83,1 | 76,4 | 69,4 | 60,7 | 39,8 |
| 13                                            |                                                         |      |      |      |      |      | 94,3 | 87,5 | 81,2 | 75,0 | 68,5 | 60,2 |
| 14                                            |                                                         |      |      |      |      |      | 98,2 | 91,5 | 85,4 | 79,6 | 73,8 | 67,7 |
| 15                                            |                                                         |      |      |      |      |      |      | 95,1 | 89,1 | 83,5 | 78,2 | 72,8 |
| 16                                            |                                                         |      |      |      |      |      |      | 98,4 | 92,5 | 87,1 | 82,0 | 77,0 |
| 17                                            |                                                         |      |      |      |      |      |      |      | 95,6 | 90,3 | 85,4 | 80,6 |
| 18                                            |                                                         |      |      |      |      |      |      |      | 98,6 | 93,3 | 88,4 | 83,9 |
| 19                                            |                                                         |      |      |      |      |      |      |      |      | 96,1 | 91,3 | 86,8 |
| 20                                            |                                                         |      |      |      |      |      |      |      |      | 98,7 | 94,0 | 89,5 |
| 21                                            |                                                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 96,5 | 92,1 |
| 22                                            |                                                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 98,9 | 94,5 |
| 23                                            |                                                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 96,8 |
| 24                                            |                                                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 98,9 |

Nota:

Valores como porcentaje del diámetro de la chimenea, y a ser contados desde la pared interior de la chimenea hasta el punto de medición.

4.2.2.11 Para la aplicación del procedimiento, el tubo Pitot, previamente calibrado, se introducirá en el conducto o chimenea, en el punto de medición seleccionado, y se tomará lectura de la presión de velocidad. Este procedimiento se repetirá para cada uno de los puntos de medición seleccionados. La velocidad promedio en el conducto o chimenea será el valor obtenido, mediante la siguiente ecuación, para el promedio aritmético de todas las lecturas de presión de velocidad registradas.

$$V = KpCp\sqrt{\Delta P} \sqrt{\frac{T_s}{P_s M_s}}$$

donde:

V: velocidad del gas en chimenea (m/s ó ft/s);

Kp: constante de la ecuación de velocidad (34,97 sistema internacional ó 85,49 unidades inglesas);



$C_p$ : coeficiente del tubo Pitot, provisto por fabricante (adimensional);

$\Delta P$ : presión de velocidad promedio (mm. H<sub>2</sub>O ó pulg. H<sub>2</sub>O);

$T_s$ : temperatura absoluta del gas en chimenea (°K ó °R);

$P_s$ : presión total absoluta en chimenea = presión atmosférica + presión estática en chimenea (mm Hg ó pulg. Hg);

$M_s$ : peso molecular húmedo del gas en chimenea (g/g-mol ó libras/libra-mol);

El gasto volumétrico de la fuente fija de combustión se obtendrá multiplicando la velocidad promedio del gas por el área transversal del conducto o chimenea en el sitio de medición.

4.2.2.12 Método 3: procedimiento para la determinación del peso molecular seco de los gases de escape. Este método comprende:

- a. Uso de un analizador de gases para determinación de contenido de dióxido de carbono, oxígeno y monóxido de carbono en los gases de escape. El analizador de gases podrá ser cualquiera de los modelos disponibles localmente, tales como Fyrite, Orsat o analizadores con tecnología de celdas electroquímicas. Se debe reconocer que algunos de estos instrumentos proveen resultados para dos de los tres parámetros requeridos, por lo que se aceptará el uso de cartas, figuras, nomogramas, ecuaciones, u otros medios, que permitan determinar el tercer parámetro a partir de dos parámetros conocidos.

- b. El peso molecular seco ( $M_d$ ), se determinará mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$M_d = 0.44\% \text{ CO}_2 + 0.32\% \text{ O}_2 + 0.28\% \text{ CO} + 0.28\% \text{ N}_2$$

El porcentaje de nitrógeno  $\text{N}_2$  se obtendrá restando del 100%, el % de  $\text{CO}_2$ , el % de  $\text{O}_2$  y el % de CO.

- c. Cuando no sea posible determinar el contenido de dióxido de carbono, de oxígeno y de monóxido de carbono en los gases de escape, se podrá utilizar el valor de 30,0 (treinta) para el peso molecular seco, siempre que la fuente fija opere con combustibles fósiles sólido, líquido o gaseoso.

4.2.2.13 Método 4: procedimiento para la determinación de contenido de humedad de los gases de escape. Este método comprende:

- a. Extracción de una muestra a un gasto constante. Se procurará que el volumen de gas colectado sea, por lo menos, de 0,60 metros cúbicos, a condiciones de referencia, y el gasto de succión del gas no sea mayor a 0,020 metros cúbicos por minuto (0,75 pies cúbicos por minuto). La colección de gas se efectuará con la sonda provista por el equipo de medición, y contará con dispositivo de calentamiento de la misma, a fin de evitar la condensación de humedad.
- b. Remoción de la humedad de la muestra. El equipo a utilizarse será, en diseño, igual al utilizado en el método 5, determinación de emisión de partículas. El equipo consiste de una sección de cuatro impactadores o envases de vidrio, de los cuales dos serán llenados con agua, y el cuarto impactador será llenado con sílica gel. Previo a la medición se registrará el peso de estos tres envases, tanto llenos con agua como llenos con sílica gel. Todos los impactadores se encontrarán alojados en una caja, llenada con hielo, a fin de permitir la condensación de la humedad presente en los gases de chimenea.
- c. Determinación gravimétrica y volumétrica de la humedad colectada. Posterior a la toma de muestra, se determinará el contenido de humedad mediante el incremento de volumen de agua colectada en los impactadores, y, mediante el incremento de peso en el impactador llenado con sílica gel.

4.2.2.14 Los resultados que se obtengan, de volumen de agua colectada y de peso de agua colectada, serán corregidos a las condiciones de referencia. El contenido de humedad, en los gases de chimenea, será la razón entre el volumen total de agua colectada dividido para dicho volumen más el volumen de gas seco, este último determinado por el equipo de muestreo.

4.2.2.15 Como alternativa al método descrito, serán aceptables los métodos de estimación tales como técnicas de condensación, técnicas psicrométricas mediante temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo, cálculos estequiométricos, experiencias previas, entre otros.

4.2.2.16 Método 5: procedimiento para la determinación de emisión de partículas desde la fuente fija. Este método comprende:

- a. Colección de muestras mediante el equipo denominado tren isocinético. Este equipo consiste de cuatro secciones principales: la sonda de captación de partículas, la sección de filtro, la sección de condensación de humedad, o de impactadores, y, la sección de medidor de volumen de gas seco muestreado. Las

mediciones a efectuarse deberán incluir la descripción técnica del equipo tren isocinético, el cual necesariamente deberá proveer las especificaciones del fabricante, y en las que se especifique que el equipo cumple con el método promulgado por la US EPA.

- b. Las muestras de partículas serán colectadas, en cada uno de los puntos de muestreo al interior de la chimenea, definidos en el método 1, durante un período de cinco (5) minutos en cada uno de dichos puntos. En ningún caso el tiempo de muestreo, en cada punto, será inferior a tres (3) minutos.
- c. La condición de isocinetismo aceptada deberá estar comprendida entre 90 y 110%.
- d. Previo a la ejecución de mediciones, se deberá efectuar una prueba de detección de fugas en el equipo de muestreo, una vez armado en el sitio.
- e. La masa de partículas se determinará gravimétricamente, esto es, mediante la diferencia de peso en el filtro a la finalización de la medición con respecto al peso previo al inicio de la misma.
- f. Además, se determinará el peso de aquellas partículas captadas en la sonda de muestreo. Para esto, se realizará un enjuague del interior de la sonda, de la boquilla de succión de la sonda, y de accesorios de esta, utilizando para el efecto acetona. El líquido colectado será almacenado en un frasco de vidrio, y llevado a laboratorio, en donde será transferido a un vaso de precipitación, será registrado su peso inicial, y se dejará evaporar el solvente a temperatura y presión ambiente. El vaso será secado por un período de 24 horas y registrado su peso final.
- g. La masa total de partículas colectadas será la suma de las partículas obtenidas en el filtro más aquellas captadas al interior de la sonda de muestreo.
- h. La concentración de partículas emitidas, a expresarse en miligramos por metro cúbico de aire seco, será la masa total de partículas dividida para el volumen total de gas seco muestreado, y corregido a las condiciones de referencia.

4.2.2.17 Métodos para determinación de emisión de dióxido de azufre y de óxidos de nitrógeno desde una fuente fija.- Esta determinación se realizará mediante uno de los dos sistemas de medición aquí propuestos, estos son, con el uso de instrumentación basada en analizadores portátiles, o, con el uso de los procedimientos de colección, recuperación y análisis en laboratorio de muestras colectadas. Se especificará claramente el método utilizado en la medición de emisiones.

4.2.2.18 Uso de analizadores portátiles.- se utilizarán equipos disponibles en el mercado, que reporten las emisiones de dióxido de azufre y/o de óxidos de nitrógeno en base a técnicas tales como de fluorescencia, ultravioleta, e infrarrojo no dispersivo, para el caso de dióxido de azufre, o, de quimiluminiscencia, para el caso de óxidos de nitrógeno. Otra opción consiste en la utilización de analizadores portátiles, que operan con tecnología de celdas electroquímicas, y diseñados para medición también de dióxido de azufre y de óxidos de nitrógeno.

4.2.2.19 De utilizarse analizadores portátiles, sea con cualquiera de las técnicas descritas en 4.2.2.18, estos equipos deberán contar con los respectivos certificados de calibración, otorgados por el fabricante de los mismos.

4.2.2.20 Los analizadores deberán contar con los accesorios que permitan el acondicionamiento de la muestra de gases en chimenea, previo al ingreso de la misma a la sección de medición. El sistema de medición deberá contar con una sonda de admisión del gas en chimenea, provista de sección de calentamiento o similar, que garanticen la no condensación de vapor de agua presente en la muestra y evitar así la consiguiente absorción de dióxido de azufre o de óxidos de nitrógeno en el líquido condensado. Si el analizador reporta los resultados en base seca, el sistema de medición deberá contar con una unidad de condensación, o dispositivo similar, que garanticen la purga o evacuación del vapor de agua condensado, y al mismo tiempo, minimice el contacto entre la muestra de gases y el líquido condensado. Se aceptarán también equipos analizadores que determinen concentraciones de SO<sub>2</sub> y/o de NO<sub>x</sub> en base húmeda, siempre que los resultados sean convertidos a concentración en base seca mediante métodos apropiados.

4.2.2.21 Los analizadores que utilicen la técnica de celdas electroquímicas deberán contar con celdas individuales tanto para medir el óxido nitroso NO como el dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> y reportarán los resultados de emisión de óxidos de nitrógeno como la suma de óxido nitroso (NO) y de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). En el caso de analizadores que utilicen la técnica de quimiluminiscencia, los resultados se reportarán directamente como total de óxidos de nitrógeno expresados como NO<sub>2</sub>.

4.2.2.22 La medición de NO<sub>x</sub> y de SO<sub>2</sub>, utilizando cualquier tipo de equipo analizador portátil, se efectuará seleccionando el número de puntos al interior de la sección de chimenea que se determine según lo descrito en el método 1 de esta norma técnica.

4.2.2.23 Método de laboratorio para SO<sub>2</sub>.- el método consiste en la retención de SO<sub>2</sub> por medio de una reacción química irreversible y la posterior determinación de la concentración mediante titulación de bario-torina. En este método, se colectará una muestra de gas en un equipo similar al tren de muestreo descrito en el método 5. Los reactivos necesarios, así como las características de los componentes del equipo serán aquellos descritos en el método 6 promulgado por la US EPA (40 CFR 60). El equipo deberá contar con un medidor del volumen de gas seco colectado. La muestra se colectará en un único punto, situado en el centro geométrico interior de la chimenea o



conducto, y durante un período de treinta (30) minutos, a fin de asegurar la representatividad de la muestra. Se inspeccionará cada cinco (5) minutos la proporcionalidad del flujo seleccionado. Para una medición completa, se colectarán seis (6) muestras individuales.

4.2.2.24 Método de laboratorio para NOx.- se colecta una muestra en un frasco al que se ha efectuado vacío previamente, este envase contiene una solución absorbente diluida de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno. La muestra es posteriormente analizada en laboratorio colorimétricamente, utilizándose el procedimiento del ácido fenoldisulfónico. Los reactivos necesarios, los procedimientos de preparación, muestreo y recuperación de muestras, así como las características de los procedimientos de análisis de las muestras, serán aquellos descritos en el método 7 promulgado por la US EPA (40 CFR 60). Los resultados se expresarán como NO<sub>2</sub>. La muestra se colectará en un único punto, situado en el centro geométrico interior de la chimenea o conducto. Para una medición completa, se colectarán doce (12) muestras individuales.

#### 4.2.3 De la frecuencia de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión

4.2.3.1 Las fuentes fijas que se determine requieran de monitoreo de sus emisiones al aire, efectuarán los respectivos trabajos de medición y reporte de resultados, al menos, una vez cada seis meses.

4.2.3.2 Requerimientos de Reporte.- Se elaborará un reporte con el contenido mínimo siguiente:

- a) Identificación de la fuente fija (Nombre o razón social, responsable, dirección);
- b) ubicación de la fuente fija, incluyendo croquis de localización y descripción de predios vecinos;
- c) nombres del personal técnico que efectuó la medición;
- d) introducción, la cual describirá el propósito y el lugar de la medición, fechas, contaminantes objeto de medición, identificación de observadores presentes, tanto de la fuente como representantes de la Entidad Ambiental de Control (de aplicarse);
- e) resumen de resultados, incluyendo los resultados en sí obtenidos, datos del proceso de combustión, emisiones máximas permitidas para la fuente;
- f) características de operación de la fuente fija, esto es, descripción del proceso y de equipos o técnicas de control o reducción de emisiones (de aplicarse), descripción de materias primas o combustibles utilizados, propiedades relevantes de estos, y cualquier información relevante para con la operación de la fuente;
- g) métodos de muestreo y de análisis utilizados, describiendo la ubicación de los puertos de muestreo y de los puntos de medición al interior de la chimenea, descripción de los equipos y/o accesorios utilizados en la recolección de muestras o medición, procedimientos o certificados de calibración empleados, y una breve discusión de los procedimientos de muestreo y de análisis de resultados seguidos, incluyendo cualquier desviación en el procedimiento, y las debidas justificaciones técnicas;
- h) anexos, los cuales incluirán cualquier información de respaldo.

#### 4.3 De los límites máximos permisibles de emisiones al aire para procesos específicos

##### 4.3.1 Elaboración de cemento

Tabla 6. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para elaboración de cemento

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES                            | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES <sup>[1]</sup>                  |
|----------------------|------------------------------------------|--------------------|----------------|------------------------------------------|
| Partículas Totales   | Horno de clínker<br>Enfriador de clínker | 150<br>100         | 50<br>50       | mg/Nm <sup>3</sup><br>mg/Nm <sup>3</sup> |
| Óxidos de Nitrógeno  | --                                       | 1 800              | 1 300          | mg/Nm <sup>3</sup>                       |
| Dióxido de Azufre    | --                                       | 800                | 600            | mg/Nm <sup>3</sup>                       |

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

#### 4.3.2 Elaboración de vidrio

**Tabla 7. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para elaboración de vidrio**

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES <sup>[1]</sup> |
|----------------------|---------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| Partículas Totales   | --            | 250                | 200            | mg/Nm <sup>3</sup>      |
| Óxidos de Nitrógeno  | --            | 1 200              | 1 000          | mg/Nm <sup>3</sup>      |
| Dióxido de Azufre    | --            | 1 800              | 1 500          | mg/Nm <sup>3</sup>      |

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno. Esta norma no se aplica cuando se utilice inyección de oxígeno en los quemadores.

#### 4.3.3 Elaboración de pulpa de papel

**Tabla 8. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para elaboración de pulpa de papel**

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES                           | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES                          |
|----------------------|-----------------------------------------|--------------------|----------------|-----------------------------------|
| Partículas Totales   | Pasta por proceso kraft o por bisulfito | 250                | 150            | mg/Nm <sup>3</sup> <sup>[1]</sup> |
| Dióxido de Azufre    | --                                      | 10                 | 5              | kg/ton pasta <sup>[2]</sup>       |

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C.

<sup>[2]</sup> kg/ton pasta: kilogramos por tonelada de pasta.

#### 4.3.4 Fundición de metales

**Tabla 9. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fundición de metales**

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES                               | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES <sup>[1]</sup>                  |
|----------------------|---------------------------------------------|--------------------|----------------|------------------------------------------|
| Partículas Totales   | Cubilotos:<br>de 1 a 5 t/h<br>mayor a 5 t/h | 600                | 250            | mg/Nm <sup>3</sup><br>mg/Nm <sup>3</sup> |
|                      |                                             | 300                | 150            |                                          |
|                      | Arco eléctrico:<br>menor 5 t<br>mayor 5 t   | 350                | 250            | mg/Nm <sup>3</sup><br>mg/Nm <sup>3</sup> |
|                      |                                             | 150                | 120            |                                          |

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

#### 4.3.5 Elaboración de azúcar: equipos de combustión que utilizan bagazo como combustible

**Tabla 10. Límites máximos permisibles de emisiones al aire desde combustión de bagazo en equipos de instalaciones de elaboración de azúcar**

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES                         |
|----------------------|---------------|--------------------|----------------|----------------------------------|
| Partículas Totales   | --            | 300                | 150            | mg/m <sup>3</sup> <sup>[1]</sup> |

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos a 12% de O<sub>2</sub>, en base seca.

#### 4.3.6 Motores de Combustión Interna

Tabla 11. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para motores de combustión interna

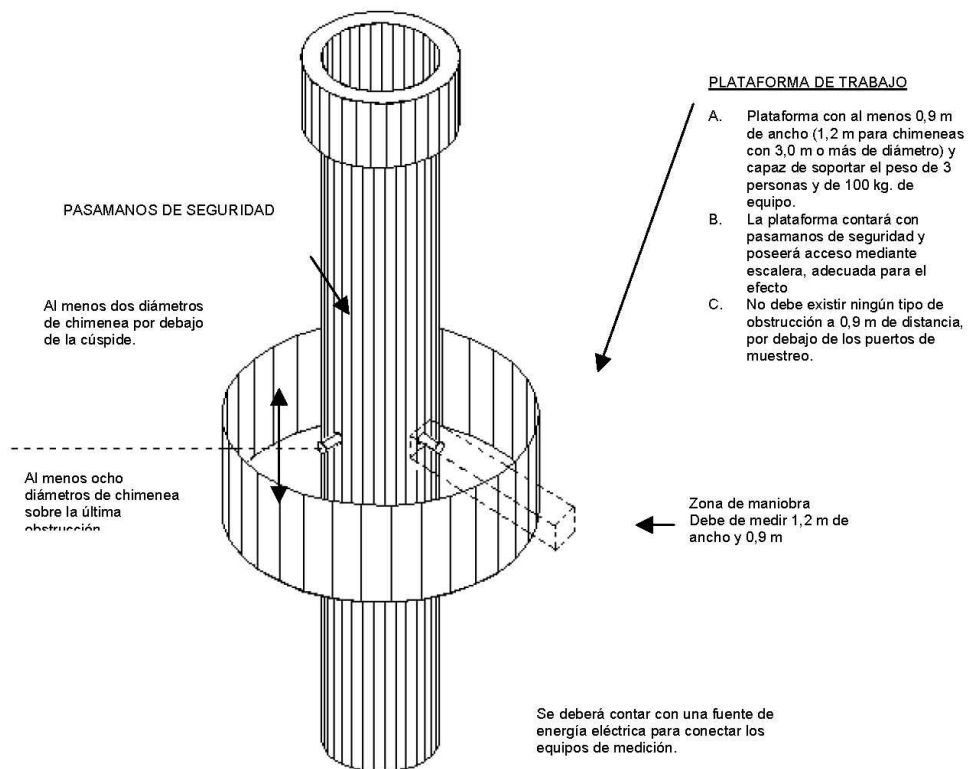
| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES <sup>[1]</sup> |
|----------------------|---------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| Partículas Totales   | --            | 350                | 150            | mg/m <sup>3</sup>       |
| Óxidos de Nitrógeno  | --            | 2 300              | 2 000          | mg/m <sup>3</sup>       |
| Dióxido de Azufre    | --            | 1 500              | 1 500          | mg/m <sup>3</sup>       |

Notas:

<sup>[1]</sup> mg/m<sup>3</sup>: miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos a 15% de O<sub>2</sub>, en base seca.

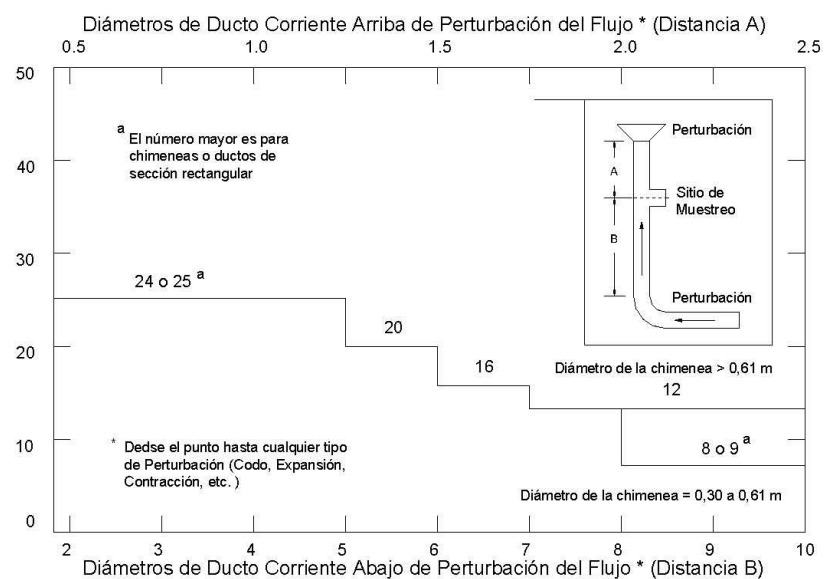
#### ANEXO

Figura 1. Requisitos para ejecución de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas

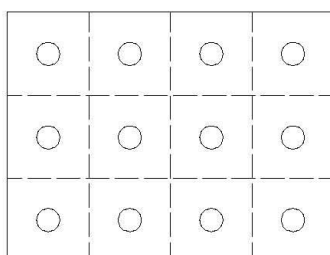




**Figura 2. Número de puntos de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas**

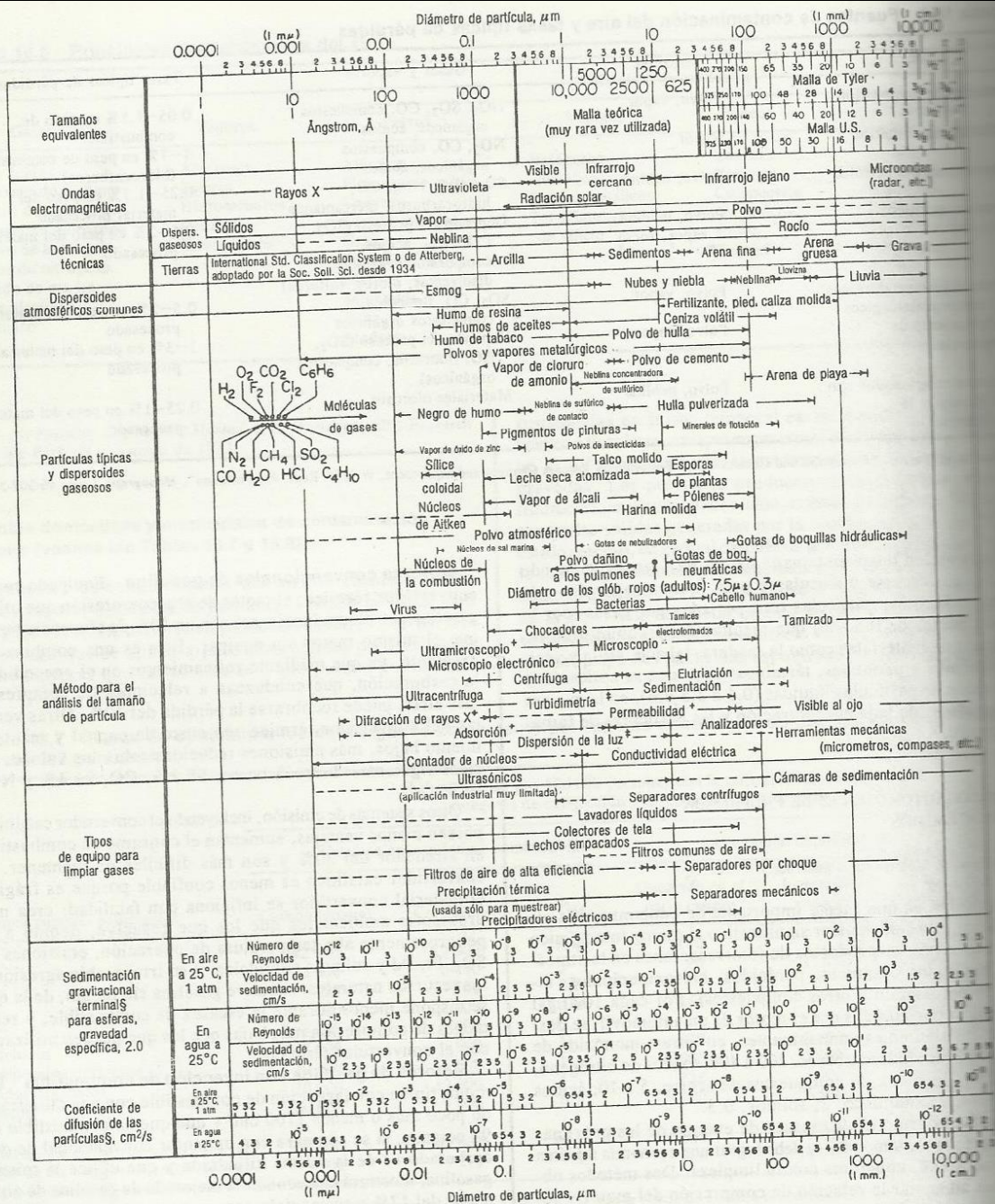


**Figura 3. Ejemplo de puntos de medición de emisiones al aire en conducto de sección rectangular (12 áreas iguales con punto de medición en centroide de cada área)**



## **APÉNDICE F**

### **TAMAÑOS Y CARACTERÍSTICAS DE PARTÍCULAS LLEVADAS POR EL AIRE [10] [11]**



\* Diámetros moleculares calculados a partir de datos de viscosidad a 0°C  
 + Proporciona el diámetro promedio de partícula pero no la distribución de tamaños  
 † La distribución de tamaños se puede obtener mediante una calibración especial  
 § En los valores dados para el aire se incluye el factor de Stokes-Cunningham, pero no en los del agua.

**Fig. 18.1** Tamaños y características de partículas llevadas por el aire. [Tomado de C. E. Lapple, *Stanford Res. Inst. Jour.*, vol. 5, pág. 94 (tercer trimestre de 1961). Reimpreso con autorización.]

Table 4 Collectors Used in Industry

| Operation                                  | Concentration     | Particle Size    | Cyclone    | High-Efficiency Centrifugal | Rotating Centrifugal | Wet Collectors              |                 |             | Self-Cleaning Fabric Filter | Disposable Media Filter | Electrostatic Precipitators |             | Notes |
|--------------------------------------------|-------------------|------------------|------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------|-------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------|-------|
|                                            |                   |                  |            |                             |                      | High-Efficiency Centrifugal | Medium-Pressure | High-Energy |                             |                         | High-Voltage                | Low-Voltage |       |
| Ceramics                                   |                   |                  |            |                             |                      |                             |                 |             |                             |                         |                             |             |       |
| a. Raw product handling                    | Light             | Fine             | Rare       | Seldom                      | N/A                  | Frequent                    | Frequent        | N/U         | Frequent                    | N/A                     | N/U                         | N/A         | 1     |
| b. Fattling                                | Light             | Fine to medium   | Rare       | Occasional                  | N/A                  | Frequent                    | Frequent        | N/U         | Frequent                    | N/A                     | N/U                         | N/A         | 2     |
| c. Refractory sizing                       | Heavy             | Coarse           | Seldom     | Occasional                  | N/A                  | Frequent                    | Frequent        | Rare        | Frequent                    | N/A                     | N/U                         | N/A         | 3     |
| d. Glaze and vitreous enamel spray         | Moderate          | Medium           | N/U        | N/U                         | N/A                  | Usual                       | Usual           | N/U         | Occasional                  | N/A                     | N/A                         | N/A         | —     |
| e. Glass melting                           | Light             | Fine             | N/A        | N/A                         | N/A                  | Occasional                  | Occasional      | N/U         | Occasional                  | N/A                     | Usual                       | N/A         | —     |
| f. Frit melting                            | Light             | Fine             | N/A        | N/A                         | N/A                  | N/U                         | N/U             | Often       | Often                       | N/A                     | Often                       | N/A         | —     |
| g. Fiberglass forming and curing           | Light             | Fine             | N/A        | N/A                         | N/A                  | Occasional                  | Occasional      | N/U         | N/U                         | Rare                    | Usual                       | N/A         | —     |
| Chemicals                                  |                   |                  |            |                             |                      |                             |                 |             |                             |                         |                             |             |       |
| a. Material handling                       | Light to moderate | Fine to medium   | Occasional | Frequent                    | N/A                  | Frequent                    | Frequent        | Frequent    | Frequent                    | N/A                     | N/U                         | N/A         | 4     |
| b. Crushing, grinding                      | Moderate to heavy | Fine to coarse   | Often      | Frequent                    | N/A                  | Frequent                    | Frequent        | Occasional  | Frequent                    | N/A                     | N/U                         | N/A         | 5     |
| c. Pneumatic conveying                     | Very heavy        | Fine to coarse   | Usual      | Occasional                  | N/A                  | Usual                       | Rare            | Rare        | Usual                       | N/A                     | N/U                         | N/A         | 6     |
| d. Roasters, kilns, coolers                | Heavy             | Medium to coarse | Occasional | Usual                       | N/A                  | Usual                       | Usual           | Frequent    | Rare                        | N/A                     | Often                       | N/A         | 7     |
| e. Incineration                            | Light to medium   | Fine             | N/U        | N/U                         | N/A                  | N/U                         | N/U             | Frequent    | Rare                        | N/A                     | Frequent                    | N/A         | 8     |
| Coal Mining and Handling                   |                   |                  |            |                             |                      |                             |                 |             |                             |                         |                             |             |       |
| a. Material handling                       | Moderate          | Medium           | Rare       | Occasional                  | N/A                  | Occasional                  | Occasional      | N/U         | Usual                       | N/A                     | N/A                         | N/A         | 9     |
| b. Bunker ventilation                      | Moderate          | Fine             | Occasional | Frequent                    | N/A                  | Occasional                  | Occasional      | N/U         | Usual                       | N/A                     | N/A                         | N/A         | 10    |
| c. Dedusting, air cleaning                 | Heavy             | Medium to coarse | Occasional | Frequent                    | N/A                  | Occasional                  | Occasional      | N/U         | Usual                       | N/A                     | N/A                         | N/A         | 11    |
| d. Drying                                  | Moderate          | Fine             | Rare       | Occasional                  | N/A                  | Occasional                  | Frequent        | Occasional  | N/U                         | N/A                     | N/A                         | N/A         | 12    |
| Combustion Fly Ash                         |                   |                  |            |                             |                      |                             |                 |             |                             |                         |                             |             |       |
| a. Coal burning:                           |                   |                  |            |                             |                      |                             |                 |             |                             |                         |                             |             |       |
| Chain grate                                | Light             | Fine             | N/A        | Rare                        | N/A                  | N/U                         | N/U             | N/U         | Frequent                    | N/A                     | N/U                         | N/A         | 13    |
| Spreader stoker                            | Moderate          | Fine to coarse   | Rare       | Rare                        | N/A                  | N/U                         | N/U             | N/U         | Frequent                    | N/A                     | Rare                        | N/A         | 14    |
| Pulverized coal                            | Heavy             | Fine             | N/A        | Frequent                    | N/A                  | N/U                         | N/U             | N/U         | Frequent                    | N/A                     | Usual                       | N/A         | 14    |
| Fluidized bed                              | Moderate          | Fine             | Usual      | —                           | N/A                  | —                           | —               | —           | Frequent                    | N/A                     | Frequent                    | N/A         | —     |
| Coal slurry                                | Light             | —                | —          | —                           | N/A                  | —                           | —               | —           | Often                       | N/A                     | Often                       | N/A         | —     |
| b. Wood waste                              | Varied            | Coarse           | Usual      | Usual                       | N/A                  | N/U                         | N/U             | N/U         | Occasional                  | N/A                     | Often                       | N/A         | 15    |
| c. Municipal refuse                        | Light             | Fine             | N/U        | N/U                         | N/A                  | Occasional                  | Occasional      | N/U         | Usual                       | N/A                     | Frequent                    | N/A         | —     |
| d. Oil                                     | Light             | Fine             | N/U        | N/U                         | N/A                  | N/U                         | N/U             | N/U         | Usual                       | N/A                     | Often                       | N/A         | —     |
| e. Biomass                                 | Moderate          | Fine to coarse   | N/U        | N/U                         | N/A                  | Occasional                  | Occasional      | N/U         | Usual                       | N/A                     | Frequent                    | N/A         | —     |
| Foundry                                    |                   |                  |            |                             |                      |                             |                 |             |                             |                         |                             |             |       |
| a. Shakeout                                | Light to moderate | Fine             | Rare       | Rare                        | N/A                  | Rare                        | Rare            | Seldom      | Usual                       | N/A                     | N/U                         | N/A         | 16    |
| b. Sand handling                           | Moderate          | Fine to medium   | Rare       | Rare                        | N/A                  | Usual                       | Usual           | N/U         | Rare                        | N/A                     | N/U                         | N/A         | 17    |
| c. Tumbling mills                          | Moderate          | Medium to coarse | N/A        | N/A                         | N/A                  | Frequent                    | Frequent        | N/U         | Usual                       | N/A                     | N/U                         | N/A         | 18    |
| d. Abrasive cleaning                       | Moderate to heavy | Fine to medium   | N/A        | Occasional                  | N/A                  | Frequent                    | Frequent        | N/U         | Usual                       | N/A                     | N/U                         | N/A         | 19    |
| Grain Elevator, Flour and Feed Mills       |                   |                  |            |                             |                      |                             |                 |             |                             |                         |                             |             |       |
| a. Grain handling                          | Light             | Medium           | Usual      | Occasional                  | N/A                  | Rare                        | Rare            | N/U         | Frequent                    | N/A                     | N/A                         | N/A         | 20    |
| b. Grain drying                            | Light             | Coarse           | N/A        | N/A                         | N/A                  | N/U                         | N/U             | N/U         | See Note 20                 | N/A                     | N/A                         | N/A         | 21    |
| c. Flour dust                              | Moderate          | Medium           | Rare       | Often                       | N/A                  | Occasional                  | Occasional      | N/U         | Usual                       | N/A                     | N/A                         | N/A         | 22    |
| d. Feed mill                               | Moderate          | Medium           | Often      | Often                       | N/A                  | Occasional                  | Occasional      | N/U         | Frequent                    | N/A                     | N/A                         | N/A         | 23    |
| Metal Melting                              |                   |                  |            |                             |                      |                             |                 |             |                             |                         |                             |             |       |
| a. Steel blast furnace                     | Heavy             | Varied           | Frequent   | Rare                        | N/A                  | Frequent                    | Frequent        | Frequent    | N/U                         | N/A                     | Frequent                    | N/A         | 24    |
| b. Steel open hearth, basic oxygen furnace | Moderate          | Fine to coarse   | N/A        | N/A                         | N/A                  | N/A                         | N/A             | Often       | Rare                        | N/A                     | Frequent                    | N/A         | 25    |
| c. Steel electric furnace                  | Light             | Fine             | N/A        | N/A                         | N/A                  | N/A                         | N/A             | Occasional  | Usual                       | N/A                     | Rare                        | N/A         | 26    |
| d. Ferrous cupola                          | Moderate          | Varied           | N/A        | N/A                         | N/A                  | Frequent                    | Frequent        | Often       | Frequent                    | N/A                     | Occasional                  | N/A         | 27    |
| e. Nonferrous reverberatory furnace        | Varied            | Fine             | N/A        | N/A                         | N/A                  | Rare                        | Rare            | Occasional  | Usual                       | N/A                     | N/U                         | N/A         | 28    |
| f. Nonferrous crucible                     | Light             | Fine             | N/A        | N/A                         | N/A                  | Rare                        | Rare            | Rare        | Occasional                  | N/A                     | N/U                         | N/A         | 29    |



| Metal Mining and Rock Products                               |                                |                                  |            |            |            |              |            |              |            |            |              |    |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|----|
| a. Material handling                                         | Moderate                       | Fine to medium                   | Rare       | Occasional | N/A        | Usual        | N/U        | Considerable | N/A        | N/U        | N/A          | 30 |
| b. Dryers, kilns                                             | Moderate                       | Medium to coarse                 | Frequent   | Occasional | N/A        | Frequent     | Occasional | N/U          | N/A        | Occasional | N/A          | 31 |
| c. Cement rock dryer                                         | Moderate                       | Fine to medium                   | N/A        | Frequent   | N/A        | Occasional   | Rare       | N/U          | N/A        | Occasional | N/A          | 30 |
| d. Cement kiln                                               | Heavy                          | Fine to medium                   | N/A        | Frequent   | N/A        | Rare         | N/U        | Usual        | N/A        | Usual      | N/A          | 32 |
| e. Cement grinding                                           | Moderate                       | Fine                             | N/A        | Rare       | N/A        | N/U          | N/U        | Usual        | N/A        | Rare       | N/A          | 33 |
| f. Cement clinker cooler                                     | Moderate                       | Coarse                           | N/A        | Occasional | N/A        | N/U          | N/U        | Occasional   | N/A        | N/U        | N/A          | 34 |
| Metal Working                                                |                                |                                  |            |            |            |              |            |              |            |            |              |    |
| a. Production grinding, scratch brushing, abrasive cutoff    | Light                          | Coarse                           | Occasional | Frequent   | N/A        | Considerable | N/U        | Considerable | N/A        | N/U        | N/A          | 35 |
| b. Portable and swing frame                                  | Light                          | Medium                           | Rare       | Frequent   | N/A        | Frequent     | N/U        | Considerable | N/A        | N/U        | N/A          | —  |
| c. Buffing                                                   | Light                          | Varied                           | Frequent   | Rare       | N/A        | Frequent     | N/U        | Rare         | N/A        | N/U        | N/A          | 36 |
| d. Tool room                                                 | Light                          | Fine                             | Frequent   | Frequent   | N/A        | Frequent     | N/U        | Frequent     | N/A        | N/U        | N/A          | 37 |
| e. Cast-iron machining                                       | Moderate                       | Varied                           | Rare       | Frequent   | N/A        | Considerable | N/U        | Considerable | N/A        | N/U        | N/A          | 38 |
| f. Steel, brass, aluminum machining                          | Light to moderate              | <1 µm smoke, med. mist to solids | N/A        | N/A        | Frequent   | Occasional   | N/U        | Occasional   | Frequent   | N/U        | Frequent     | 39 |
| g. Welding                                                   | Light to moderate              | <1 µm fume to medium             | N/A        | N/A        | N/A        | Occasional   | N/U        | Frequent     | Frequent   | Rare       | Occasional   | 40 |
| h. Plasma and laser cutting                                  | Moderate                       | N/A                              | N/A        | N/A        | N/A        | Occasional   | N/U        | Frequent     | Rare       | N/A        | N/U          | 41 |
| i. Laser welding                                             | Moderate                       | N/A                              | N/A        | N/A        | N/A        | Occasional   | N/U        | Frequent     | Rare       | N/A        | N/U          | 41 |
| j. Abrasive machining                                        | Moderate to heavy              | Fine to <1 µm                    | N/A        | N/U        | Occasional | Occasional   | N/U        | Rare         | Frequent   | N/A        | Rare         | 39 |
| k. Milling, turning, cutting tools                           | Light to moderate              | Fine to <1 µm                    | N/A        | N/U        | Frequent   | Occasional   | N/U        | N/A          | Frequent   | N/A        | Frequent     | —  |
| l. Annealing, heat treating, induction heating, quenching    | Moderate to heavy              | <1 µm                            | N/A        | N/U        | N/A        | Rare         | Rare       | N/A          | Rare       | N/A        | Frequent     | —  |
| Pharmaceutical and Food Products                             |                                |                                  |            |            |            |              |            |              |            |            |              |    |
| a. Mixers, grinders, weighting, blending, bagging, packaging | Light                          | Medium                           | Rare       | Frequent   | N/A        | Frequent     | N/U        | Frequent     | Occasional | N/U        | N/U          | 42 |
| b. Coating pans                                              | Varied                         | Fine to medium                   | Rare       | Rare       | N/A        | Frequent     | N/U        | Frequent     | Rare       | N/U        | N/U          | 43 |
| PLASTICS                                                     |                                |                                  |            |            |            |              |            |              |            |            |              |    |
| a. Raw material processing                                   | (See comments under CHEMICALS) | Varied                           | Frequent   | Frequent   | N/A        | Frequent     | N/U        | Frequent     | Rare       | N/U        | N/U          | 44 |
| b. Plastic finishing                                         | Light to moderate              | Varied                           | N/A        | N/A        | N/A        | Rare         | N/U        | N/A          | Occasional | N/U        | Considerable | 45 |
| c. Molding, extruding, curing                                | Light to moderate              | <1 µm smoke                      | N/A        | N/A        | N/A        | Frequent     | N/U        | N/A          | Occasional | N/U        | Considerable | 46 |
| Pulp and Paper                                               |                                |                                  |            |            |            |              |            |              |            |            |              |    |
| a. Recovery boilers:                                         | Heavy                          | Medium                           | N/U        | N/U        | N/A        | N/U          | N/U        | Occasional   | N/A        | Usual      | N/A          | —  |
| Direct contact                                               | Heavy                          | Medium                           | N/U        | N/U        | N/A        | N/U          | N/U        | Occasional   | N/A        | Usual      | N/A          | —  |
| Low odor                                                     | Heavy                          | Coarse                           | N/U        | N/U        | N/A        | N/U          | N/U        | Often        | N/A        | Often      | N/A          | —  |
| b. Lime kilns                                                | Heavy                          | Fine to coarse                   | N/U        | N/U        | N/A        | N/U          | N/U        | Occasional   | N/A        | Often      | N/A          | —  |
| c. Wood-chip dryers                                          | Varied                         | N/A                              | N/U        | N/U        | N/A        | N/U          | N/U        | Occasional   | N/A        | N/A        | N/A          | —  |
| Rubber Products                                              |                                |                                  |            |            |            |              |            |              |            |            |              |    |
| a. Mixers                                                    | Moderate                       | Fine                             | N/A        | N/A        | N/A        | Frequent     | N/U        | Usual        | Rare       | N/U        | N/U          | 47 |
| b. Batch-out rolls                                           | Light                          | Fine                             | N/A        | N/A        | N/A        | Usual        | N/U        | Frequent     | N/A        | N/U        | Rare         | 48 |
| c. Talc dusting and dedusting                                | Moderate                       | Medium                           | N/A        | N/A        | N/A        | Frequent     | N/U        | Usual        | Rare       | N/U        | N/U          | 49 |
| d. Grinding                                                  | Moderate                       | Coarse                           | Often      | Often      | N/A        | Frequent     | N/U        | Often        | Rare       | N/U        | N/U          | 50 |
| e. Molding, extruding, curing                                | Light to moderate              | <1 µm smoke                      | N/A        | N/A        | N/A        | Rare         | N/U        | N/A          | Occasional | N/A        | Considerable | 46 |
| Wood Particle Board and Hard Board                           |                                |                                  |            |            |            |              |            |              |            |            |              |    |
| a. Particle dryers                                           | Moderate                       | Fine to coarse                   | Usual      | Occasional | N/A        | Frequent     | Occasional | Rare         | N/A        | Occasional | Rare         | 51 |
| Woodworking                                                  |                                |                                  |            |            |            |              |            |              |            |            |              |    |
| a. Woodworking machines                                      | Moderate                       | Varied                           | Usual      | Occasional | N/A        | Rare         | N/U        | Frequent     | N/A        | N/U        | N/A          | 52 |
| b. Sanding                                                   | Moderate                       | Fine                             | Frequent   | Occasional | N/A        | Occasional   | N/U        | Frequent     | Rare       | N/U        | N/A          | 53 |
| c. Waste conveying, hogs                                     | Heavy                          | Varied                           | Usual      | Rare       | N/A        | Occasional   | N/U        | Occasional   | N/A        | N/U        | N/A          | 54 |

Source: Kane and Alden (1982). Information updated by ASHRAE Technical Committee 5.4.

Notes for Table 4

**Definitions**

N/A—Not applicable because of inefficiency or process incompatibility.  
 N/U—Not widely used.

**Particle size**

Fine—50% in 0.5 to 7  $\mu\text{m}$  diameter range  
 Medium—50% in 7 to 15  $\mu\text{m}$  diameter range  
 Coarse—50% over 15  $\mu\text{m}$  diameter range

**Concentration of particulate matter entering collector (loading)**

Light— $<4 \text{ g/m}^3$   
 Moderate—4 to 10  $\text{g/m}^3$   
 Heavy— $>10 \text{ g/m}^3$

<sup>1</sup> Dust released from bin filling, conveying, weighing, mixing, pressing, forming. Refractory products, dry pan, and screening operations more severe.

<sup>2</sup> Operations found in vitreous enameling, wall and floor tile, pottery.

<sup>3</sup> Grinding wheel or abrasive cutoff operation. Dust abrasive.

<sup>4</sup> Operations include conveying, elevating, mixing, screening, weighing, packaging. Category covers so many different materials that recommendation will vary widely.

<sup>5</sup> Cyclone and high-efficiency centrifugal collectors often act as primary collectors, followed by fabric filters or wet collectors.

<sup>6</sup> Usual setup uses cyclone as product collector followed by fabric filter for high overall collection efficiency.

<sup>7</sup> Dust concentration determines need for dry centrifugal collector; plant location, product value determines need for final collectors. High temperatures are usual, and corrosive gases not unusual. Liquid smoke emissions may be controlled by condensing precipitator systems using low-voltage, two-stage electrostatic precipitators.

<sup>8</sup> Ionizing wet scrubbers are widely used.

<sup>9</sup> Conveying, screening, crushing, unloading.

<sup>10</sup> Remote from other dust-producing points. Separate collector generally used.

<sup>11</sup> Heavy loading suggests final high-efficiency collector for all except very remote locations.

<sup>12</sup> Loadings and particle sizes vary with different drying methods.

<sup>13</sup> Boiler blow-down discharge is regulated, generally for temperature and, in some places, for pH limits; check local environmental codes on sanitary discharge.

<sup>14</sup> Collection for particulate or sulfur control usually requires a scrubber (dry or wet) and a fabric filter or electrostatic precipitator.

<sup>15</sup> Public nuisance from settled wood char indicates collectors are needed.

<sup>16</sup> Hot gases and steam usually involved.

<sup>17</sup> Steam from hot sand, adhesive clay bond involved.

<sup>18</sup> Concentration very heavy at start of cycle.

<sup>19</sup> Heaviest load from airless blasting because of high cleaning speed. Abrasive shattering greater with sand than with grit or shot. Amounts removed greater with sand castings, less with forging scale removal, least when welding scale is removed.

<sup>20</sup> Operations such as car unloading, conveying, weighing, storing.

<sup>21</sup> Special filters are successful.

<sup>22</sup> In addition to grain handling, cleaning rolls, sifters, purifiers, conveyors, as well as storing, packaging operations are involved.

<sup>23</sup> In addition to grain handling, bins, hammer mills, mixers, feeders, conveyors, bagging operations need control.

<sup>24</sup> Primary dry trap and wet scrubbing usual. Electrostatic precipitators are added where maximum cleaning is required.

<sup>25</sup> Air pollution control is expensive for open hearth, accelerating the use of substitute melting equipment, such as basic oxygen process and electric-arc furnace.

<sup>26</sup> Fabric filters have found extensive application for this air pollution control problem.

<sup>27</sup> Cupola control varies with plant size, location, melt rate, and air pollution emission regulations.

<sup>28</sup> Corrosive gases can be a problem, especially in secondary aluminum.

<sup>29</sup> Zinc oxide plume can be troublesome in certain plant locations.

<sup>30</sup> Crushing, screening, conveying, storing involved. Wet ores often introduce water vapor in exhaust airstream.

<sup>31</sup> Dry centrifugal collectors are used as primary collectors, followed by a final cleaner.

<sup>32</sup> Collectors usually permit salvage of material and also reduce nuisance from settled dust in plant area.

<sup>33</sup> Salvage value of collected material is high. Same equipment used on raw grinding before calcining.

<sup>34</sup> Coarse abrasive particles readily removed in primary collector types.

<sup>35</sup> Roof discoloration, deposition on autos can occur with cyclones and, less frequently, with dry centrifugal. Heavy-duty air filter sometimes used as final cleaner.

<sup>36</sup> Lumpy particles and sticky buffing compounds can cause trouble in high-efficiency centrifugals and fabric filters. Fire hazard is also often present.

<sup>37</sup> Unit collectors extensively used, especially for isolated machine tools.

<sup>38</sup> Dust ranges from chips to fine floats, including graphitic carbon.

<sup>39</sup> Coolant mist and thermal smoke, often with solid swarf particulate entrained.

<sup>40</sup> Submicrometre smoke. Arc welding creates mostly dry metal oxide particulate, sometimes with liquid oil smoke. Resistance welding usually creates only liquid oil smoke, unless done at extremely high currents that vaporize some of the metal being welded.

<sup>41</sup> Plasma and laser cutting and welding of clean metals usually creates dry submicrometre smoke, but oily work pieces frequently generate a sticky mix of liquid and solid submicrometre smoke or fume.

<sup>42</sup> Materials involved vary widely. Collector selection may depend on salvage value, toxicity, sanitation yardsticks.

<sup>43</sup> Controlled temperature and humidity of supply air to coating pans makes recirculation from coating pans desirable.

<sup>44</sup> Manufacture of plastic compounds involves operations allied to many in chemical field and vane with the basic process employed.

<sup>45</sup> Operations are similar to woodworking, and collector selection involves similar considerations.

<sup>46</sup> Submicrometre liquid smoke is frequently emitted when plastic and rubber products are heated.

<sup>47</sup> Concentration is heavy during feed operation. Carbon black and other fine additions make collection and dust-free disposal difficult.

<sup>48</sup> Often, no collection equipment is used where dispersion from exhaust stack is good and stack location is favorable.

<sup>49</sup> Salvage of collected material often dictates type of high-efficiency collector.

<sup>50</sup> Fire hazard from some operations must be considered.

<sup>51</sup> Granular bed filters, at times electrostatically augmented, have occasionally been used in this application.

<sup>52</sup> Bulky material. Storage for collected material is considerable; bridging from splinters and chips can be a problem.

<sup>53</sup> Production sanding produces heavy concentrations of particles too fine to be effectively captured by cyclones or dry centrifugal collectors.

<sup>54</sup> Primary collector invariably indicated with concentration and partial size range involved; when used, wet or fabric collectors are employed as final collectors.

# APÉNDICE G

## CONDICIONES DE TEMPERATURA Y VIENTO [11].

Table 3A Heating and Wind Design Conditions—World Locations

|                  |        |        |         |             |              |       | Heating |       | Extreme Wind |      |      | Coldest Month |      |      |      | MWS/PWD to DB |     |      |     | Extr. Annual Daily |       |       |      |
|------------------|--------|--------|---------|-------------|--------------|-------|---------|-------|--------------|------|------|---------------|------|------|------|---------------|-----|------|-----|--------------------|-------|-------|------|
| Station          | WMO#   | Lat.   | Long.   | Elev.,<br>m | StdP,<br>kPa | Dates | 99.6%   | 99%   | Speed, m/s   |      |      | 0.4%          |      | 1%   |      | 99.6%         |     | 0.4% |     | Mean DB            |       | StdDB |      |
|                  |        |        |         |             |              |       | 99.6%   | 99%   | 1%           | 2.5% | 5%   | WS            | MDR  | WS   | MDR  | MWS           | PWD | MWS  | PWD | Max.               | Min.  | Max.  | Min. |
| 1a               | 1b     | 1c     | 1d      | 1e          | 1f           | 1g    | 2a      | 2b    | 3a           | 3b   | 3c   | 4a            | 4b   | 4c   | 4d   | 5a            | 5b  | 5c   | 5d  | 6a                 | 6b    | 6c    | 6d   |
| Zhangjiakou      | 544010 | 40.78N | 114.88E | 726         | 92.90        | 8293  | -17.0   | -15.4 | 7.7          | 6.6  | 5.6  | 7.3           | -9.5 | 6.4  | -8.9 | 3.1           | 340 | 2.5  | 140 | 34.8               | -19.5 | 0.6   | 2.0  |
| Zhanjiang        | 596580 | 21.22N | 110.40E | 28          | 100.99       | 8293  | 7.6     | 8.9   | 7.1          | 5.9  | 5.2  | 6.2           | 12.4 | 5.4  | 13.4 | 3.6           | 340 | 3.5  | 250 | 36.2               | 5.7   | 1.7   | 2.2  |
| Zhengzhou        | 570830 | 34.72N | 113.65E | 111         | 100.00       | 8293  | -7.4    | -5.9  | 9.3          | 7.4  | 6.2  | 10.5          | 4.5  | 8.6  | 3.6  | 1.2           | 180 | 3.4  | 160 | 37.7               | -10.6 | 1.4   | 2.3  |
| COLOMBIA         |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Bogota           | 802220 | 4.70N  | 74.13W  | 2548        | 74.23        | 8293  | 2.2     | 3.9   | 9.4          | 8.0  | 6.4  | 10.3          | 17.6 | 8.5  | 17.4 | 0.2           | 320 | 4.5  | 90  | 28.0               | -0.9  | 4.7   | 1.5  |
| COOK ISLANDS     |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Rarotonga Island | 918430 | 21.20S | 159.82W | 7           | 101.24       | 8293  | 16.8    | 17.8  | 11.1         | 9.8  | 8.9  | 11.5          | 21.9 | 10.3 | 22.2 | 0.5           | 150 | 4.9  | 80  | 31.5               | 14.6  | 1.7   | 1.4  |
| CROATIA          |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Pula             | 132090 | 44.90N | 13.92E  | 63          | 100.57       | 8293  | -4.1    | -2.8  | 11.5         | 9.4  | 7.7  | 11.8          | 1.8  | 9.6  | 3.5  | 3.3           | 20  | 2.8  | 270 | 33.5               | -6.2  | 1.1   | 2.0  |
| Split            | 133330 | 43.53N | 16.30E  | 21          | 101.07       | 8293  | -1.9    | -0.1  | 10.6         | 8.4  | 7.0  | 10.4          | 4.9  | 8.5  | 6.6  | 3.9           | 340 | 3.7  | 230 | 34.6               | -7.1  | 3.9   | 9.3  |
| Zagreb           | 131310 | 45.73N | 16.07E  | 107         | 100.05       | 8293  | -13.2   | -10.0 | 8.5          | 7.2  | 5.9  | 7.7           | 4.0  | 6.3  | 3.9  | 1.0           | 240 | 2.9  | 230 | 33.5               | -16.5 | 3.2   | 4.6  |
| CUBA             |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Guantanamo       | 783670 | 19.90N | 75.15W  | 17          | 101.12       | 8293  | 19.2    | 20.1  | 10.0         | 8.9  | 7.9  | 9.3           | 29.2 | 8.4  | 29.0 | 3.5           | 360 | 5.2  | 130 | 37.6               | 16.0  | 2.6   | 4.6  |
| CYPRUS           |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Akrotiri         | 176010 | 34.58N | 32.98E  | 23          | 101.05       | 8293  | 4.6     | 6.0   | 11.1         | 10.0 | 9.0  | 12.9          | 11.4 | 11.5 | 12.3 | 2.3           | 350 | 4.3  | 260 | 35.2               | 2.4   | 1.7   | 2.4  |
| Larnaca          | 176090 | 34.88N | 33.63E  | 2           | 101.30       | 8293  | 3.0     | 4.6   | 11.9         | 10.2 | 8.9  | 12.5          | 12.2 | 10.8 | 12.2 | 3.2           | 310 | 5.5  | 200 | 36.9               | 0.8   | 1.2   | 1.9  |
| Paphos           | 176000 | 34.72N | 32.48E  | 8           | 101.23       | 8293  | 4.0     | 5.4   | 10.6         | 9.2  | 8.0  | 13.2          | 12.9 | 11.3 | 13.0 | 3.9           | 30  | 4.0  | 280 | 33.5               | 2.1   | 1.8   | 1.9  |
| CZECH REPUBLIC   |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Brno             | 117230 | 49.15N | 16.70E  | 246         | 98.40        | 8293  | -14.4   | -10.9 | 10.6         | 9.2  | 8.2  | 11.5          | -1.0 | 9.5  | -0.7 | 3.4           | 60  | 4.5  | 180 | 32.6               | -15.8 | 1.6   | 4.0  |
| Cheb             | 114060 | 50.08N | 12.40E  | 471         | 95.79        | 8293  | -15.6   | -12.4 | 7.1          | 6.1  | 5.3  | 7.6           | 2.8  | 6.4  | 2.1  | 1.0           | 40  | 2.3  | 220 | 32.1               | -17.1 | 2.1   | 3.5  |
| Ostrava          | 117820 | 49.68N | 18.12E  | 256         | 98.29        | 8293  | -17.1   | -12.9 | 10.1         | 9.1  | 8.3  | 11.5          | -0.1 | 10.3 | 0.6  | 2.3           | 20  | 4.6  | 190 | 32.3               | -19.6 | 1.7   | 5.5  |
| Plzen            | 114480 | 49.65N | 13.27E  | 364         | 97.03        | 8293  | -16.7   | -12.8 | 9.4          | 8.3  | 7.4  | 10.7          | 5.0  | 9.1  | 3.5  | 1.0           | 20  | 3.5  | 120 | 33.3               | -18.2 | 2.2   | 5.1  |
| Praded Mountain  | 117350 | 50.07N | 17.23E  | 1492        | 84.64        | 8293  | -19.0   | -16.4 | 21.0         | 18.2 | 16.1 | 22.6          | -6.9 | 19.0 | -5.4 | 8.4           | 20  | 5.2  | 180 | 22.1               | -20.2 | 1.7   | 4.3  |
| Prague           | 115180 | 50.10N | 14.28E  | 366         | 97.00        | 8293  | -16.1   | -12.4 | 12.4         | 10.4 | 9.0  | 13.9          | 4.0  | 11.9 | 2.3  | 1.9           | 10  | 3.5  | 160 | 32.8               | -18.0 | 2.0   | 4.9  |
| Pribyslav        | 116590 | 49.58N | 15.77E  | 536         | 95.05        | 8293  | -16.2   | -13.0 | 12.8         | 11.2 | 9.8  | 13.3          | 1.1  | 12.1 | -0.7 | 2.1           | 360 | 3.9  | 130 | 30.4               | -18.9 | 2.7   | 4.0  |
| DENMARK          |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Alborg           | 60300  | 57.10N | 9.87E   | 3           | 101.29       | 8293  | -13.1   | -9.2  | 13.0         | 11.4 | 10.2 | 14.3          | 7.0  | 12.5 | 5.8  | 2.6           | 220 | 4.7  | 100 | 28.0               | -14.1 | 2.2   | 6.9  |
| Copenhagen       | 61800  | 55.63N | 12.67E  | 5           | 101.26       | 8293  | -11.1   | -8.0  | 13.0         | 11.6 | 10.5 | 13.2          | 4.3  | 12.0 | 3.1  | 5.1           | 360 | 4.7  | 160 | 27.5               | -10.3 | 1.8   | 4.5  |
| Hammerodde       | 61930  | 55.30N | 14.78E  | 11          | 101.19       | 8293  | -6.7    | -5.3  | 19.5         | 16.7 | 15.0 | 20.2          | 1.1  | 18.5 | 1.0  | 8.9           | 70  | 5.2  | 230 | 26.7               | -5.6  | 1.9   | 3.3  |
| Mon Island       | 61790  | 54.95N | 12.55E  | 15          | 101.14       | 8293  | -8.0    | -5.7  | 19.1         | 15.8 | 14.3 | 20.4          | 2.8  | 18.2 | 1.9  | 6.2           | 320 | 4.0  | 70  | 25.4               | -7.2  | 2.2   | 4.3  |
| Odense           | 61200  | 55.47N | 10.33E  | 17          | 101.12       | 8293  | -10.2   | -7.7  | 13.1         | 11.5 | 10.2 | 13.5          | 5.5  | 12.2 | 4.2  | 3.4           | 40  | 4.9  | 120 | 29.0               | -12.6 | 2.3   | 5.3  |
| Skagen           | 60410  | 57.77N | 10.65E  | 7           | 101.24       | 8293  | -9.3    | -6.4  | 18.4         | 16.0 | 14.4 | 18.3          | 2.0  | 16.2 | 3.2  | 7.4           | 40  | 4.6  | 360 | 24.5               | -8.8  | 1.9   | 4.4  |
| Tirstrup         | 60700  | 56.30N | 10.62E  | 25          | 101.03       | 8293  | -13.0   | -9.1  | 12.0         | 10.5 | 9.4  | 12.3          | 4.6  | 10.9 | 3.7  | 2.4           | 20  | 4.8  | 280 | 27.8               | -14.0 | 1.9   | 6.1  |
| ECUADOR          |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Guayaquil        | 842030 | 2.15S  | 79.88W  | 9           | 101.22       | 8293  | 19.7    | 19.9  | 7.3          | 6.5  | 6.0  | 7.7           | 23.2 | 7.1  | 23.1 | 3.6           | 210 | 3.2  | 40  | 34.9               | 10.5  | 1.3   | 6.3  |
| Quito            | 840710 | 0.15S  | 78.48W  | 2812        | 71.80        | 8293  | 7.0     | 7.9   | 7.8          | 6.6  | 5.9  | 6.6           | 17.6 | 6.0  | 17.8 | 0.3           | 350 | 4.1  | 150 | 28.8               | 4.7   | 4.3   | 1.8  |
| EGYPT            |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Alexandria       | 623180 | 31.20N | 29.95E  | 7           | 101.24       | 8293  | 6.8     | 7.8   | 10.7         | 9.2  | 8.1  | 13.0          | 13.6 | 11.3 | 14.6 | 2.1           | 190 | 4.3  | 340 | 39.0               | 2.9   | 1.8   | 2.1  |
| Cairo            | 623660 | 30.13N | 31.40E  | 74          | 100.44       | 8293  | 7.0     | 8.0   | 9.5          | 8.3  | 7.3  | 10.3          | 14.6 | 8.7  | 16.4 | 2.6           | 210 | 5.6  | 350 | 42.1               | 3.1   | 1.6   | 2.7  |
| Luxor            | 624050 | 25.67N | 32.70E  | 88          | 100.27       | 8293  | 4.4     | 5.7   | 7.2          | 6.1  | 5.2  | 6.8           | 17.8 | 5.8  | 17.7 | 0.9           | 180 | 2.6  | 330 | 46.1               | 0.9   | 1.7   | 1.0  |
| ESTONIA          |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Kopu/Cape Ristna | 261150 | 58.92N | 22.07E  | 9           | 101.22       | 8293  | -15.1   | -11.9 | 13.2         | 11.1 | 9.4  | 12.9          | 3.2  | 10.7 | 2.9  | 2.3           | 80  | 2.7  | 70  | 26.4               | -14.1 | 2.3   | 6.7  |
| Tallinn          | 260380 | 59.35N | 24.80E  | 44          | 100.80       | 8293  | -19.8   | -16.0 | 9.2          | 8.1  | 7.3  | 9.8           | 0.9  | 8.6  | 0.0  | 2.9           | 140 | 3.6  | 40  | 28.0               | -19.6 | 2.4   | 4.8  |
| FAEROE ISLANDS   |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Torshavn         | 60110  | 62.02N | 6.77W   | 39          | 100.86       | 8293  | -3.2    | -2.3  | 18.2         | 15.3 | 13.7 | 21.5          | 5.7  | 19.2 | 6.2  | 5.8           | 320 | 4.8  | 210 | 18.1               | -5.4  | 1.9   | 1.4  |
| FIJI             |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Nadi             | 916800 | 17.75S | 177.45E | 18          | 101.11       | 8293  | 16.0    | 17.1  | 8.9          | 7.8  | 7.0  | 8.7           | 25.8 | 7.7  | 26.0 | 1.6           | 120 | 5.8  | 350 | 34.9               | 13.1  | 2.0   | 3.3  |
| Nausori          | 916830 | 18.05S | 178.57E | 7           | 101.24       | 8293  | 16.9    | 17.9  | 9.1          | 8.2  | 7.3  | 8.9           | 23.8 | 8.1  | 23.5 | 0.3           | 320 | 4.7  | 60  | 32.9               | 15.0  | 1.1   | 1.0  |
| FINLAND          |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Helsinki         | 29740  | 60.32N | 24.97E  | 56          | 100.65       | 8293  | -23.7   | -19.5 | 10.0         | 8.8  | 7.9  | 10.9          | 1.5  | 9.7  | -0.1 | 2.4           | 340 | 4.8  | 210 | 28.4               | -24.7 | 1.7   | 5.3  |
| Jyväskylä        | 29350  | 62.40N | 25.68E  | 145         | 99.60        | 8293  | -29.2   | -24.8 | 8.9          | 7.7  | 6.8  | 10.2          | -2.2 | 8.4  | -3.4 | 0.7           | 330 | 3.8  | 180 | 28.5               | -30.2 | 2.4   | 4.2  |
| Kauhava          | 29130  | 63.10N | 23.03E  | 44          | 100.80       | 8293  | -29.0   | -25.6 | 9.4          | 8.3  | 7.4  | 10.4          | -0.5 | 9.3  | -0.6 | 0.8           | 80  | 3.8  | 230 | 27.6               | -29.6 | 1.3   | 4.5  |
| Kuopio           | 29170  | 63.02N | 27.80E  | 102         | 100.11       | 8293  | -29.7   | -25.6 | 8.4          | 7.4  | 6.7  | 9.3           | -1.2 | 8.3  | -2.0 | 0.6           | 140 | 3.3  | 170 | 27.5               | -29.5 | 1.4   | 4.4  |
| Lahti            | 29650  | 60.97N | 25.63E  | 84          | 100.32       | 8293  | -26.3   | -21.9 | 6.3          | 5.4  | 4.8  | 6.9           | 0.8  | 6.0  | -0.3 | 0.6           | 350 | 2.7  | 150 | 28.5               | -28.1 | 1.5   | 4.0  |
| Pello            | 28440  | 66.80N | 24.00E  | 84          | 100.32       | 8293  | -3.4    | -29.1 | 6.4          | 5.6  | 5.0  | 6.3           | -3.7 | 5.4  | -4.4 | 0.4           | 300 | 3.0  | 340 | 27.6               | -34.7 | 2.7   | 3.0  |
| Pori             | 29520  | 61.47N | 21.80E  | 17          | 101.12       | 8293  | -24.3   | -20.2 | 11.1         | 9.8  | 8.7  | 13.2          | 2.7  | 11.3 | 1.7  | 2.3           | 90  | 5.0  | 140 | 27.5               | -24.8 | 1.4   | 4.4  |
| Suomussalmi      | 28790  | 64.90N | 29.02E  | 224         | 98.96        | 8293  | -29.7   | -27.2 | 7.4          | 6.4  | 5.8  | 7.9           | -1.2 | 6.9  | -3.0 | 0.5           | 360 | 3.1  | 270 | 28.2               | -32.1 | 5.6   | 3.7  |
| Tampere          | 29440  | 61.42N | 23.58E  | 112         | 99.69        | 8293  | -26.2   | -22.2 | 8.4          | 7.5  | 6.8  | 9.5           | 1.2  | 8.4  | 0.2  | 0.8           | 10  | 4.0  | 10  | 28.8               | -27.2 | 1.4   | 4.8  |
| Turku            | 29720  | 60.52N | 22.27E  | 59          | 100.62       | 8293  | -23.1   | -19.6 | 9.5          | 8.3  | 7.4  | 11.1          | 0.5  | 9.4  | -0.1 | 2.7           | 40  | 4.0  | 230 | 28.4               | -23.9 | 1.2   | 5.4  |
| FRANCE           |        |        |         |             |              |       |         |       |              |      |      |               |      |      |      |               |     |      |     |                    |       |       |      |
| Bordeaux         | 75100  | 44.83N | 0.70W   | 61          | 100.59       | 8293  | -5.8    | -3.0  | 9.9          | 8.3  | 7.1  | 10.6          | 10.3 | 9.0  | 10.4 | 1.6           | 40  | 3.3  | 80  | 35.9               | -7.4  | 1.5   | 4.1  |
| Clermont-Ferrand | 74600  | 45.78N | 3.17E   | 330         | 97.42        | 8293  | -9.1    | -6.8  | 10.7         | 8.9  | 7.5  | 11.4          | 9.4  | 9.7  | 9.2  | 1.4           | 360 | 3.4  | 20  | 36.2               | -11.8 | 1.6   | 3.9  |
| Dijon            | 72400  | 47.27N | 5.08E   | 227         | 98.63        | 8293  | -9.8    | -6.8  | 10.2         | 8.7  | 7.6  | 11.0          | 7.0  | 9.7  | 6.0  | 3.1           | 20  | 4.6  | 170 | 33.5               | -11.3 | 1.9   | 4.5  |
| Brest            | 71100  | 48.45N | 4.42W   | 103         | 100.09       | 8293  | -2.8    | -1.0  | 11.8         | 9.4  | 8.3  | 12.7          | 8.7  | 11.4 | 8.0  | 3.4           | 120 | 4.0  | 40  | 29.5               | -4.4  | 2.2   | 2.4  |
| Lyon             | 74810  | 45.73N | 5.08E   | 240         | 98.47        | 8293  | -8.5    | -5.1  | 11.4         | 9.6  | 8.2  | 11.8          | 6.6  | 10.0 | 7.2  | 1.4           | 20  | 5.2  | 180 | 34.8               | -9.7  | 1.5   | 4.1  |
| Marseille        | 76500  | 43.55N | 5.23E   | 36          | 100.89       | 8293  | -3.9    | -2.0  | 16.8         | 14.4 | 12.4 | 17.1          | 6.7  | 14.4 | 6.5  | 3.8           | 360 | 5.6  | 280 | 35.1               | -5.6  | 1.8   | 3.1  |
| Montpellier      | 76430  | 43.58N | 3.97E   | 6           | 101.25       | 8293  | -3.8    | -1.2  | 12.7         | 11.0 | 9.6  | 12.2          | 9.6  | 10.6 | 10.2 | 3.3           | 340 | 5.6  | 180 | 35.7               | -5.9  | 1.4   | 3.3  |

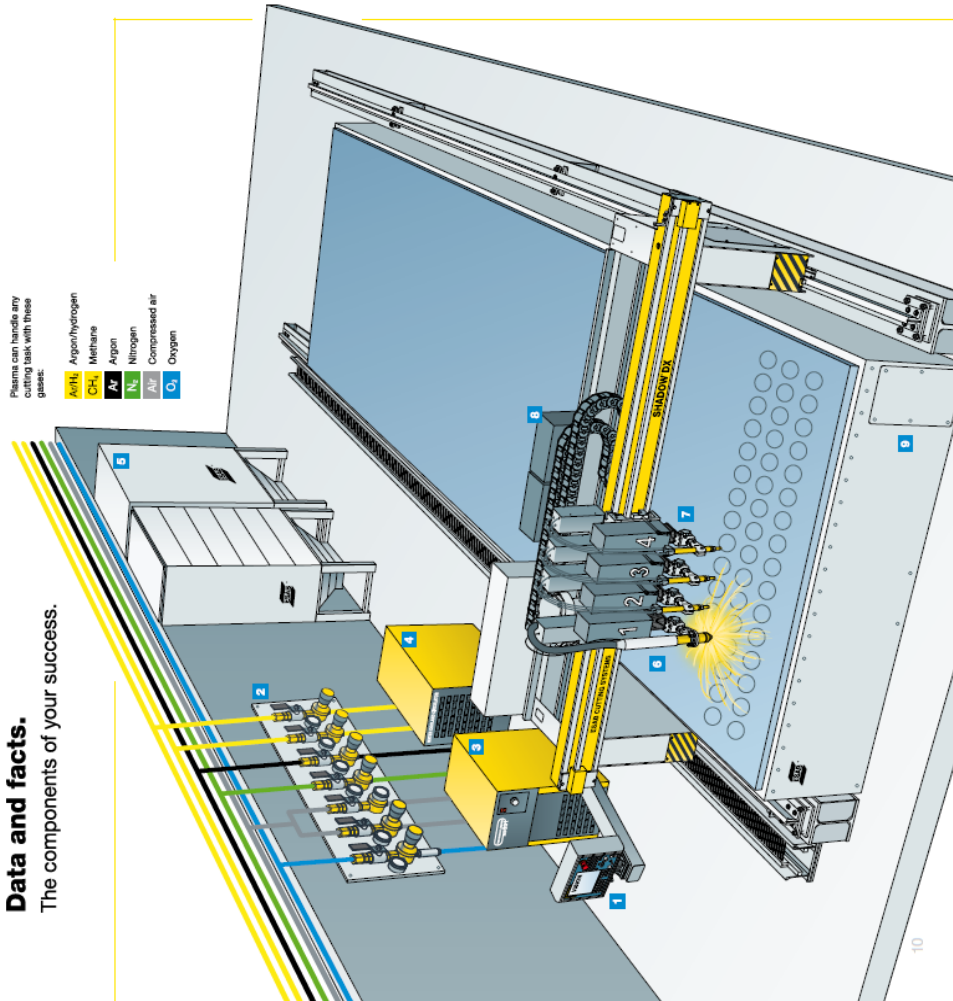
# APÉNDICE H

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SHADOW DX ESAB

**Data and facts.**  
The components of your success.

Plasma can handle any cutting task with these gases:

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| Ar/H <sub>2</sub> | Argon/hydrogen |
| CH <sub>4</sub>   | Methane        |
| Ar                | Argon          |
| N <sub>2</sub>    | Nitrogen       |
| Ar                | Compressed air |
| O <sub>2</sub>    | Oxygen         |



| SHADOW® DX Technical Data            |                                                   |        |        |        |        |  |  |  |  |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|
| Track width in inches                | 78.74                                             | 98.43  | 118.11 | 137.80 | 157.48 |  |  |  |  |
| Cutting width <sup>1</sup> in inches | 59.06                                             | 78.74  | 98.43  | 118.11 | 137.80 |  |  |  |  |
| Machine width in inches              | 134.84                                            | 154.53 | 174.21 | 193.90 | 213.58 |  |  |  |  |
| Cutting length <sup>2</sup>          | max. 59 ft. (18 m)                                |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Cutting processes                    | plasma, oxy-fuel                                  |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Plasma technology <sup>3</sup>       |                                                   |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Cutting thickness                    | max. 2.5 inch (depending on plasma unit)          |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Number of torches                    | 1 plasma torch                                    |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Oxy-fuel technology <sup>4</sup>     |                                                   |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Cutting thickness                    | max. 8 inch edge cutting                          |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Hole piercing                        | max. 6 inch (with one oxy-fuel torch)             |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Number of torches                    | 1 – 4 oxy-fuel torches                            |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Fuel gases                           | acetylene, propane, natural gas, mixed fuel gases |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Machine speed                        | 1,000 inch/min                                    |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Machine length                       | 66 inches                                         |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Machine height                       | 76 inches (including track height of 18.5 inches) |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Workpiece table height               | 27 inches                                         |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Supply voltage                       | 230 VAC 50/60 Hz                                  |        |        |        |        |  |  |  |  |
| Full load amperage                   | 10 Amps                                           |        |        |        |        |  |  |  |  |

### Typical SHADOW® DX system layout:

- 1 VISION® 51 controller
- 2 Gas & utility supplies
- 3 Plasma power source
- 4 Water cooler
- 5 Dust collector with blower
- 6 1 plasma torch
- 7 3 oxy-fuel torches
- 8 Plasma control
- 9 Down draft table

**Note**  
Depending on the plasma unit, the system can automatically cut and mark with the same consumables.

Example of torch use:  
- max. 1 plasma torch /  
3 oxy-fuel torches  
- max. 0 plasma torches /  
4 oxy-fuel torches

<sup>1</sup> For 1 torch with oxy-fuel or plasma.  
<sup>2</sup> At a track length of max. 20 m (66 ft).

<sup>3</sup> Maximum of 1 plasma torch.

<sup>4</sup> Number of oxy-fuel torches depends on the use of a plasma torch. If no plasma torch is installed, up to 4 oxy-fuel torches can be used.

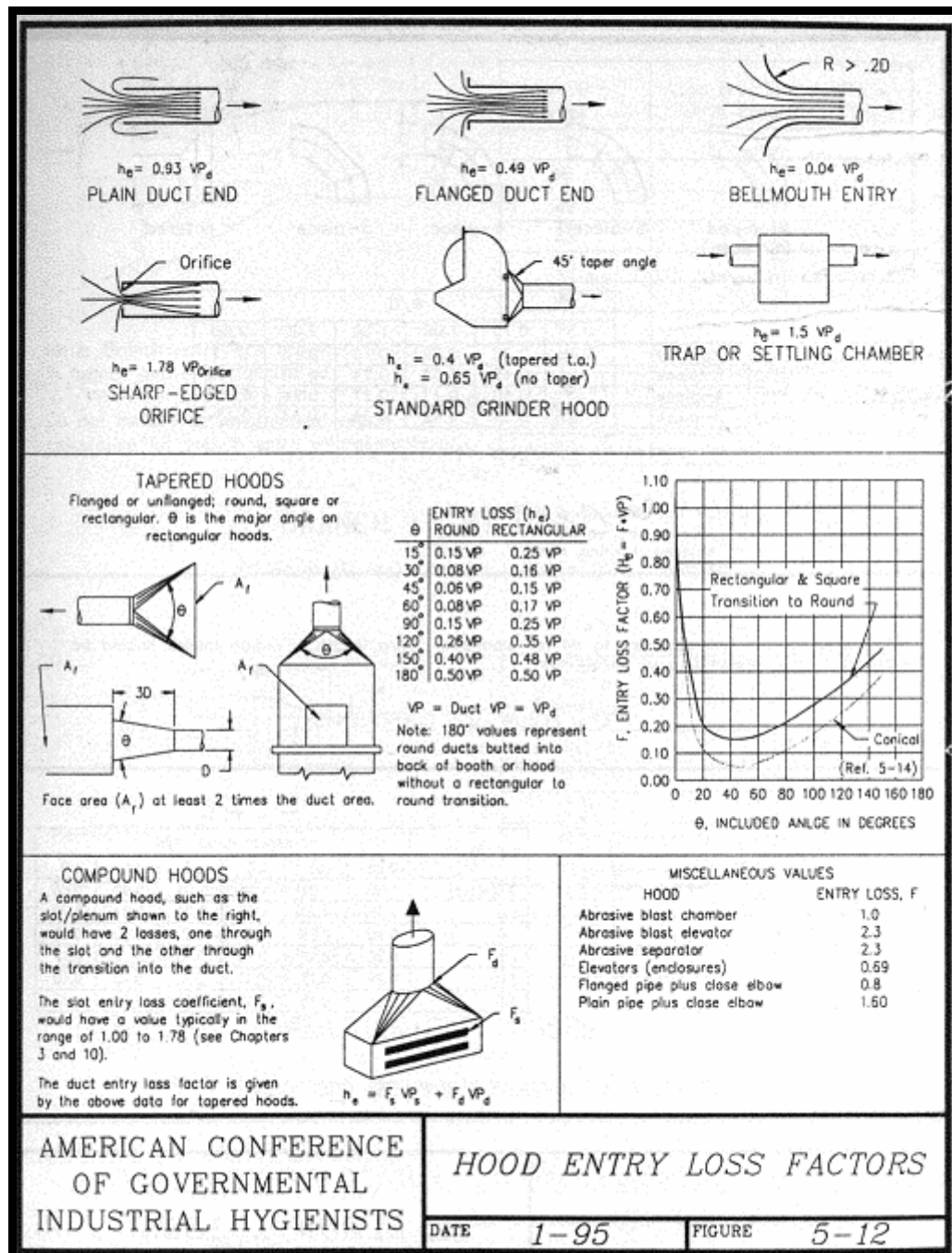


# **APÉNDICE I**

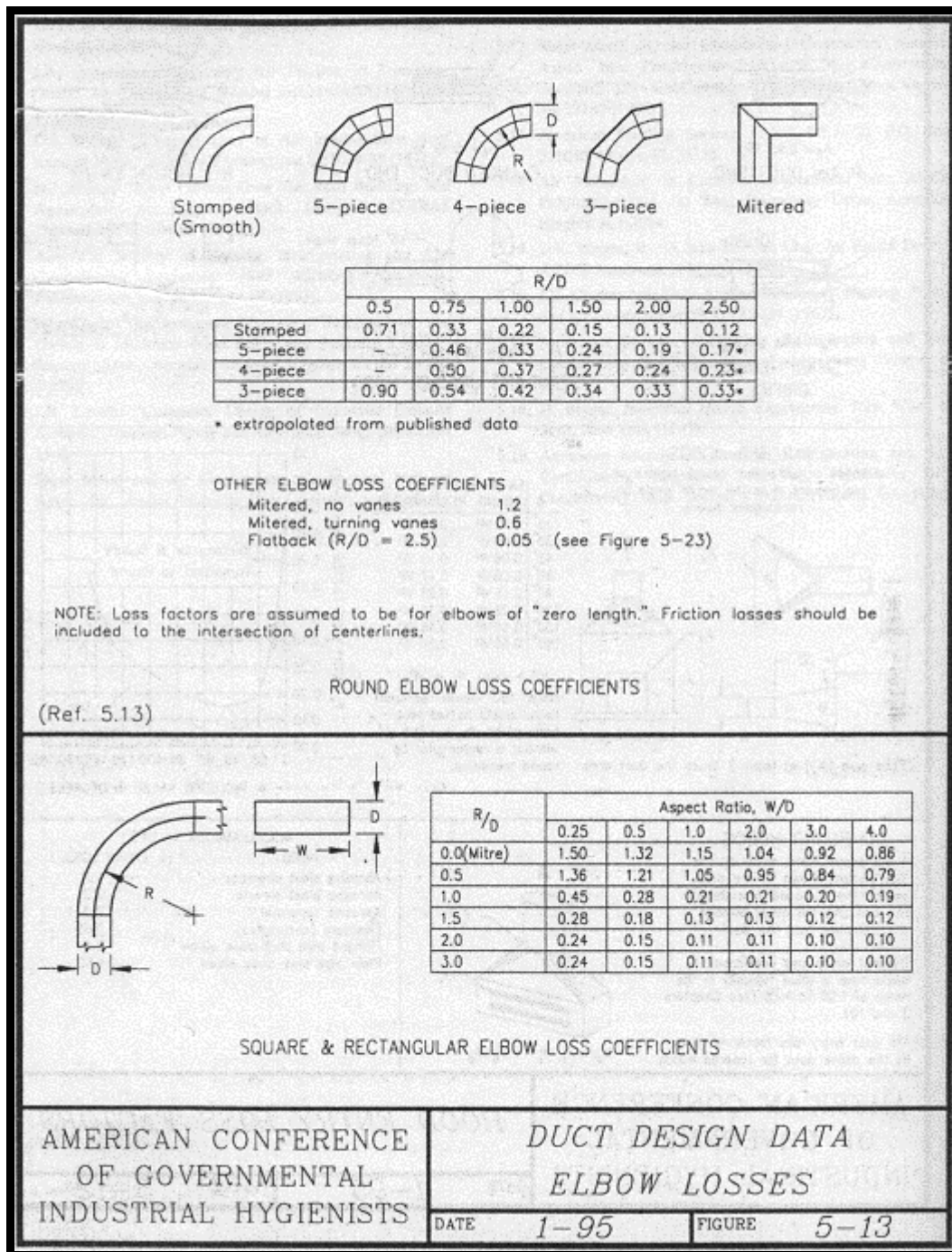
## **TABLAS Y FIGURAS PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN LOS DUCTOS Y ACCESORIOS**

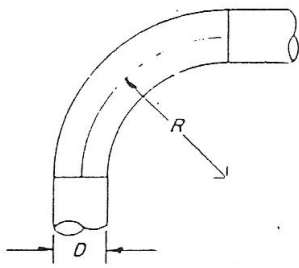
- ☞ Factores para el cálculo de Campanas. Figura 5-12. [14]
- ☞ Factores para pérdidas de codos. Figuras 5-13, 6-12, MS-8. [14]
- ☞ Factores de pérdidas por entradas. Figuras 6-13. [14]
- ☞ Dimensiones para construcción de Accesorios. [19]
- ☞ Factores de pérdidas en ductos. [14]
- ☞ Factores para el cálculo del espesor mínimo requerido. [18]

## FACTORES PARA CÁLCULO DE CAMPANAS [14]



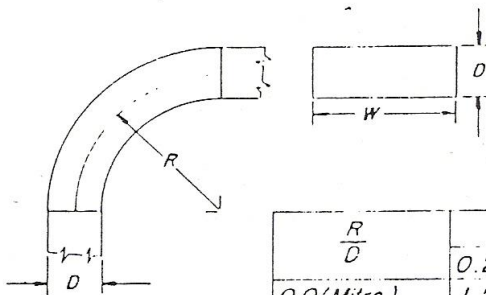
## FACTORES PARA PÉRDIDAS DE CODOS [14]





| <i>R, No. of<br/>Diameters</i> | <i>Loss Fraction<br/>of VP</i> |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 2.75 D                         | 0.26                           |
| 2.50 D                         | 0.22                           |
| 2.25 D                         | 0.26                           |
| 2.00 D                         | 0.27                           |
| 1.75 D                         | 0.32                           |
| 1.50 D                         | 0.39                           |
| 1.25 D                         | 0.55                           |

ROUND ELBOWS



| $\frac{R}{D}$ | Loss, Fraction of VP |      |      |      |      |      |
|---------------|----------------------|------|------|------|------|------|
|               | Aspect Ratio, W/D    |      |      |      |      |      |
|               | 0.25                 | 0.5  | 1.0  | 2.0  | 3.0  | 4.0  |
| 0.0 (Mitre)   | 1.50                 | 1.32 | 1.15 | 1.04 | 0.92 | 0.86 |
| 0.5           | 1.36                 | 1.21 | 1.05 | 0.95 | 0.84 | 0.79 |
| 1.0           | 0.45                 | 0.28 | 0.21 | 0.21 | 0.20 | 0.19 |
| 1.5           | 0.28                 | 0.18 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.12 |
| 2.0           | 0.24                 | 0.15 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.10 |
| 3.0           | 0.24                 | 0.15 | 0.11 | 0.11 | 0.10 | 0.10 |

SQUARE & RECTANGULAR ELBOWS

ELBOW LOSSES

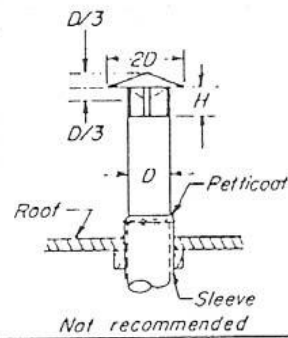
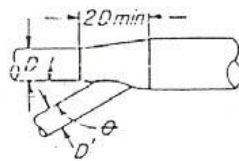
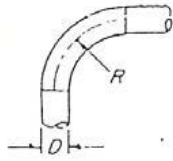
AMERICAN CONFERENCE OF  
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

DUCTWORK DESIGN DATA

DATE 1-66

Fig. 6-12

# EQUIVALENT RESISTANCE IN METERS OF STRAIGHT PIPE



| Pipe<br>in<br>mm | 90° Elbow *<br>Centerline Radius |      |      | Angle<br>of Entry |     | H, No of<br>Diameters |        |      |
|------------------|----------------------------------|------|------|-------------------|-----|-----------------------|--------|------|
|                  | 1.5D                             | 2.0D | 2.5D | 30°               | 45° | 1.0H                  | 0.75 H | 0.5H |
| 75               | 1.4                              | 0.9  | 0.7  | 0.5               | 0.9 | 0.3                   | 0.5    | 2.0  |
| 100              | 2.0                              | 1.3  | 1.1  | 0.8               | 1.3 | 0.5                   | 0.8    | 3.4  |
| 125              | 2.6                              | 1.7  | 1.4  | 1.1               | 1.7 | 0.6                   | 1.1    | 4.4  |
| 150              | 3.2                              | 2.2  | 1.8  | 1.4               | 2.2 | 0.8                   | 1.4    | 5.5  |
| 175              | 3.9                              | 2.6  | 2.2  | 1.7               | 2.6 | 0.9                   | 1.7    | 6.6  |
| 200              | 4.6                              | 3.1  | 2.5  | 2.0               | 3.1 | 1.1                   | 2.0    | 7.8  |
| 250              | 6.0                              | 4.0  | 3.3  | 2.6               | 4.0 | 1.4                   | 2.6    | 10   |
| 300              | 7.4                              | 5.0  | 4.1  | 3.2               | 5.0 | 1.8                   | 3.2    | 13   |
| 350              | 8.9                              | 6.0  | 5.0  | 3.8               | 6.0 | 2.1                   | 3.8    | 15   |
| 400              | 10                               | 7.0  | 5.8  | 4.5               | 7.0 | 2.5                   | 4.5    | 18   |
| 450              | 12                               | 8.1  | 6.7  | 5.2               | 8.1 | 2.8                   | 5.2    | 21   |
| 500              | 14                               | 9.2  | 7.6  | 5.9               | 9.2 | 3.2                   | 5.9    | 23   |
| 600              | 17                               | 11   | 9.5  | 7.3               | 11  | 4.0                   | 7.3    | 29   |
| 700              | 21                               | 14   | 11   | 8.8               | 14  | 4.8                   | 8.8    | 35   |
| 800              | 24                               | 16   | 13   | 10                | 16  | 5.7                   | 10     | 41   |
| 900              | 28                               | 19   | 15   |                   |     |                       |        |      |
| 1000             | 32                               | 21   | 18   |                   |     |                       |        |      |
| 1200             | 39                               | 26   | 22   |                   |     |                       |        |      |
| 1400             | 47                               | 32   | 26   |                   |     |                       |        |      |
| 1600             | 55                               | 37   | 31   |                   |     |                       |        |      |
| 1800             | 64                               | 43   | 36   |                   |     |                       |        |      |
| 2000             | 72                               | 49   | 40   |                   |     |                       |        |      |

\* For 60° elbows — x.67  
For 45° elbows — x.5

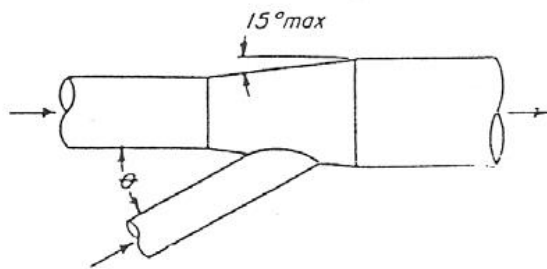
AMERICAN CONFERENCE OF  
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

## DUCT DESIGN DATA

DATE 1-70

Fig. MS 8

## FACTORES DE PÉRDIDAS POR ENTRADAS [14]

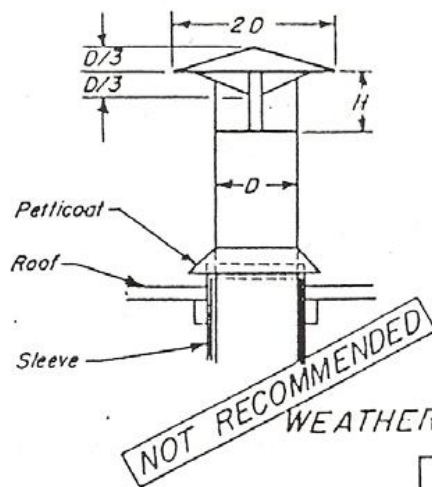


*Note: Branch entry loss assumed to occur in branch and is so calculated.*

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

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

### BRANCH ENTRY LOSSES



*See Fig. 6-24*

| H, No. of<br>Diameters | Loss Fraction of VP |
|------------------------|---------------------|
| 1.0 D                  | 0.10                |
| 0.75 D                 | 0.18                |
| 0.70 D                 | 0.22                |
| 0.65 D                 | 0.30                |
| 0.60 D                 | 0.41                |
| 0.55 D                 | 0.56                |
| 0.50 D                 | 0.73                |
| 0.45 D                 | 1.0                 |

### WEATHER CAP LOSSES

AMERICAN CONFERENCE OF  
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

DUCTWORK DESIGN DATA

DATE 1-76

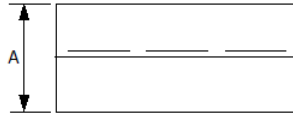
Fig. 6-13



## DIMENSIONES PARA CONSTRUCCIÓN DE ACCESORIOS [19]

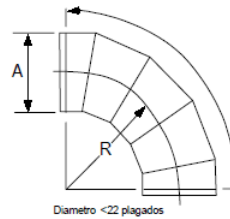
### CONDUCTO DE COSTURA LONGITUDINAL

(costura longitudinal totalmente soldada)



**DIMENSIONES:**  
8-plagado mínimo  
90-plagado máximo

### CODO ARMADO

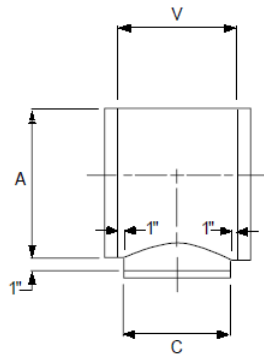


**DIMENSIONES:**  
 $R = 1.5A$

Donde:

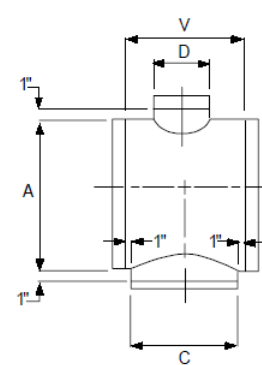
|         | Numero de secciones |
|---------|---------------------|
| 0 - 35  | 2                   |
| 36 - 71 | 3                   |
| 72 - 90 | 5                   |

### TE RECTA



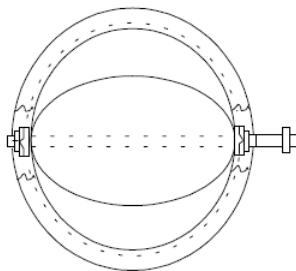
**DIMENSIONES:**  
 $V = C + 2$   
máximo  $C = A$

### CRUZ RECTA DE 90°



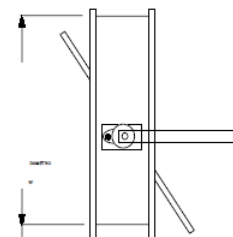
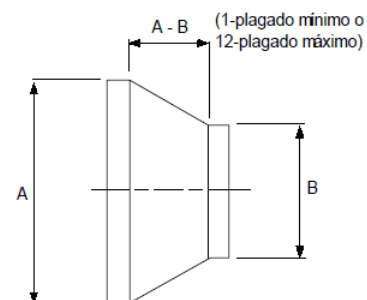
**DIMENSIONES:**  
 $V = C + 2$   
máximo  $C$  o  $D = A$

### Compuertas



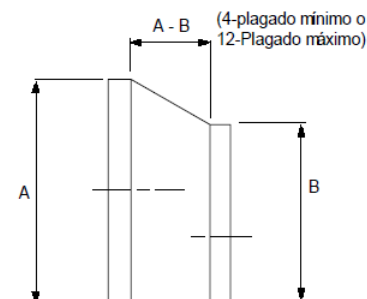
Vista Fronta

### REDUCTOR CONCÉNTRICO

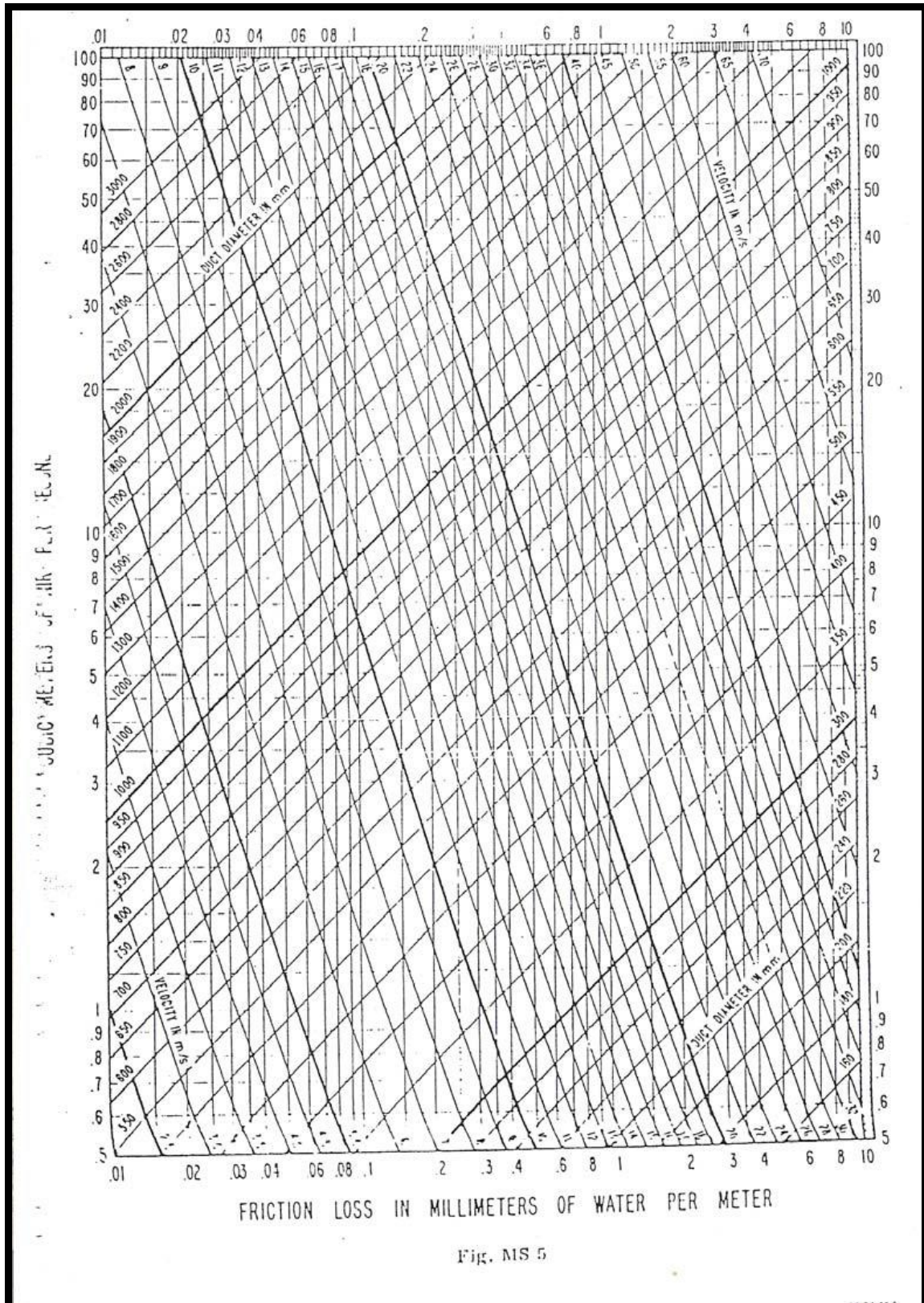


Vista Lateral

### REDUCTOR EXCÉNTRICO



## FACTORES DE PÉRDIDAS EN DUCTOS [14]





# FACTORES PARA CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO [18]

ASME B31.3-2002

302.3.5-304.1.1

TABLE 302.3.5  
STRESS-RANGE REDUCTION FACTORS,  $f$

| Cycles, $N$               | Factor, $f$ |
|---------------------------|-------------|
| 7,000 and less            | 1.0         |
| Over 7,000 to 14,000      | 0.9         |
| Over 14,000 to 22,000     | 0.8         |
| Over 22,000 to 45,000     | 0.7         |
| Over 45,000 to 100,000    | 0.6         |
| Over 100,000 to 200,000   | 0.5         |
| Over 200,000 to 700,000   | 0.4         |
| Over 700,000 to 2,000,000 | 0.3         |

$$N = N_E + \sum (r_i^2 N_i) \text{ for } i = 1, 2, \dots, n \quad (1d)$$

where

$N_E$  = number of cycles of maximum computed displacement stress range,  $S_E$

$r_i = S_i/S_E$

$S_i$  = any computed displacement stress range smaller than  $S_E$

$N_i$  = number of cycles associated with displacement stress range  $S_i$

## 302.3.6 Limits of Calculated Stresses due to Occasional Loads

(a) *Operation.* The sum of the longitudinal stresses due to pressure, weight, and other sustained loadings  $S_L$  and of the stresses produced by occasional loads, such as wind or earthquake, may be as much as 1.33 times the basic allowable stress given in Appendix A. For castings, the basic allowable stress shall be multiplied by the casting quality factor  $E_c$ . Where the allowable stress value exceeds two-thirds of yield strength at temperature, the allowable stress value must be reduced as specified in para. 302.3.2(c). Wind and earthquake forces need not be considered as acting concurrently.

(b) *Test.* Stresses due to test conditions are not subject to the limitations in para. 302.3. It is not necessary to consider other occasional loads, such as wind and earthquake, as occurring concurrently with test loads.

## 302.4 Allowances

In determining the minimum required thickness of a piping component, allowances shall be included for corrosion, erosion, and thread depth or groove depth. See definition for  $c$  in para. 304.1.1(b).

**302.4.1 Mechanical Strength.** When necessary, the wall thickness shall be increased to prevent overstress, damage, collapse, or buckling due to superimposed loads

from supports, ice formation, backfill, transportation, handling, or other causes. Where increasing the thickness would excessively increase local stresses or the risk of brittle fracture, or is otherwise impracticable, the required strength may be obtained through additional supports, braces, or other means without an increased wall thickness. Particular consideration should be given to the mechanical strength of small pipe connections to piping or equipment.

## PART 2 PRESSURE DESIGN OF PIPING COMPONENTS

### 303 GENERAL

Components manufactured in accordance with standards listed in Table 326.1 shall be considered suitable for use at pressure-temperature ratings in accordance with para. 302.2.1. The rules in para. 304 are intended for pressure design of components not covered in Table 326.1, but may be used for a special or more rigorous design of such components. Designs shall be checked for adequacy of mechanical strength under applicable loadings enumerated in para. 301.

### 304 PRESSURE DESIGN OF COMPONENTS

#### 304.1 Straight Pipe

##### 304.1.1 General

(a) The required thickness of straight sections of pipe shall be determined in accordance with Eq. (2):

$$t_m = t + c \quad (2)$$

The minimum thickness  $T$  for the pipe selected, considering manufacturer's minus tolerance, shall be not less than  $t_m$ .

(b) The following nomenclature is used in the equations for pressure design of straight pipe.

$t_m$  = minimum required thickness, including mechanical, corrosion, and erosion allowances

$t$  = pressure design thickness, as calculated in accordance with para. 304.1.2 for internal pressure or as determined in accordance with para. 304.1.3 for external pressure

$c$  = the sum of the mechanical allowances (thread or groove depth) plus corrosion and erosion allowances. For threaded components, the

TABLE 304.1.1  
VALUES OF COEFFICIENT  $Y$   
FOR  $t < D/6$

| Materials            | Temperature, °C (°F)   |              |               |               |               |                      |
|----------------------|------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------------|
|                      | ≤ 482<br>(900 & Lower) | 510<br>(950) | 538<br>(1000) | 566<br>(1050) | 593<br>(1100) | ≥ 621<br>(1150 & Up) |
| Ferritic steels      | 0.4                    | 0.5          | 0.7           | 0.7           | 0.7           | 0.7                  |
| Austenitic steels    | 0.4                    | 0.4          | 0.4           | 0.4           | 0.5           | 0.7                  |
| Other ductile metals | 0.4                    | 0.4          | 0.4           | 0.4           | 0.4           | 0.4                  |
| Cast iron            | 0.0                    | ...          | ...           | ...           | ...           | ...                  |

nominal thread depth (dimension  $h$  of ASME B1.20.1, or equivalent) shall apply. For machined surfaces or grooves where the tolerance is not specified, the tolerance shall be assumed to be 0.5 mm (0.02 in.) in addition to the specified depth of the cut.

$T$  = pipe wall thickness (measured or minimum per purchase specification)

$d$  = inside diameter of pipe. For pressure design calculation, the inside diameter of the pipe is the maximum value allowable under the purchase specification.

$P$  = internal design gage pressure

$D$  = outside diameter of pipe as listed in tables of standards or specifications or as measured

$E$  = quality factor from Table A-1A or A-1B

$S$  = stress value for material from Table A-1

$Y$  = coefficient from Table 304.1.1, valid for  $t < D/6$  and for materials shown. The value of  $Y$  may be interpolated for intermediate temperatures.

For  $t \geq D/6$ ,

$$Y = \frac{d + 2c}{D + d + 2c}$$

### 304.1.2 Straight Pipe Under Internal Pressure

(a) For  $t < D/6$ , the internal pressure design thickness for straight pipe shall be not less than that calculated in accordance with either Eq. (3a) or Eq. (3b):

$$t = \frac{PD}{2(SE + PY)} \quad (3a)$$

$$t = \frac{P(d + 2c)}{2[SE - P(1 - Y)]} \quad (3b)$$

(b) For  $t \geq D/6$  or for  $P/SE > 0.385$ , calculation of pressure design thickness for straight pipe requires special consideration of factors such as theory of failure, effects of fatigue, and thermal stress.

### 304.1.3 Straight Pipe Under External Pressure.

To determine wall thickness and stiffening requirements for straight pipe under external pressure, the procedure outlined in the BPV Code, Section VIII, Division 1, UG-28 through UG-30 shall be followed, using as the design length  $L$  the running center line length between any two sections stiffened in accordance with UG-29. As an exception, for pipe with  $D_o/t < 10$ , the value of  $S$  to be used in determining  $P_{a2}$  shall be the lesser of the following values for pipe material at design temperature:

(a) 1.5 times the stress value from Table A-1 of this Code; or

(b) 0.9 times the yield strength tabulated in Section II, Part D, Table Y-1 for materials listed therein.

(The symbol  $D_o$  in Section VIII is equivalent to  $D$  in this Code.)

### 304.2 Curved and Mitered Segments of Pipe

**304.2.1 Pipe Bends.** The minimum required thickness  $t_m$  of a bend, after bending, in its finished form, shall be determined in accordance with Eq. (2) and Eq. (3c):

$$t = \frac{PD}{2[(SE/I) + PY]} \quad (3c)$$

where at the intrados (inside bend radius)

$$I = \frac{4(R_1/D) - 1}{4(R_1/D) - 2} \quad (3d)$$

and at the extrados (outside bend radius)

$$I = \frac{4(R_1/D) + 1}{4(R_1/D) + 2} \quad (3e)$$

and at the sidewall on the bend centerline radius,  $I = 1.0$ .

$R_1$  = bend radius of welding elbow or pipe bend

Thickness variations from the intrados to the extrados and along the length of the bend shall be gradual. The

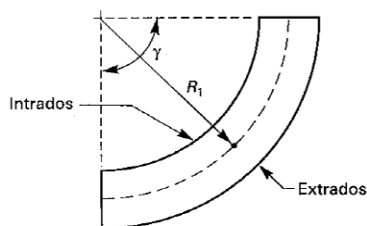


FIG. 304.2.1 NOMENCLATURE FOR PIPE BENDS

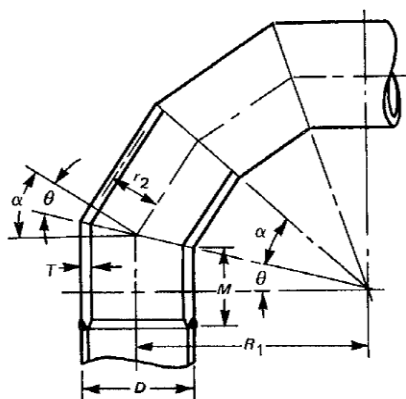


FIG. 304.2.3 NOMENCLATURE FOR MITER BENDS

thickness requirements apply at the mid-span of the bend,  $\gamma/2$ , at the intrados, extrados, and bend centerline radius. The minimum thickness at the end tangents shall not be less than the requirements of para. 304.1 for straight pipe (see Fig. 304.2.1).

**304.2.2 Elbows.** Manufactured elbows not in accordance with para. 303 shall be qualified as required by para. 304.7.2 or designed in accordance with para. 304.2.1.

**304.2.3 Miter Bends.** An angular offset of 3 deg or less (angle  $\alpha$  in Fig. 304.2.3) does not require design consideration as a miter bend. Acceptable methods for pressure design of multiple and single miter bends are given in (a) and (b) below.

(a) **Multiple Miter Bends.** The maximum allowable internal pressure shall be the lesser value calculated from Eqs. (4a) and (4b). These equations are not applicable when  $\theta$  exceeds 22.5 deg.

$$P_m = \frac{SE(T-c)}{r_2} \left( \frac{T-c}{(T-c) + 0.643 \tan \theta \sqrt{r_2(T-c)}} \right) \quad (4a)$$

$$P_m = \frac{SE(T-c)}{r_2} \left( \frac{R_1 - r_2}{R_1 - 0.5r_2} \right) \quad (4b)$$

(b) **Single Miter Bends**

(1) The maximum allowable internal pressure for a single miter bend with angle  $\theta$  not greater than 22.5 deg shall be calculated by Eq. (4a).

(2) The maximum allowable internal pressure for a single miter bend with angle  $\theta$  greater than 22.5 deg shall be calculated by Eq. (4c):

$$P_m = \frac{SE(T-c)}{r_2} \left( \frac{T-c}{(T-c) + 1.25 \tan \theta \sqrt{r_2(T-c)}} \right) \quad (4c)$$

(c) The miter pipe wall thickness  $T$  used in Eqs. (4a), (4b), and (4c) shall extend a distance not less than  $M$  from the inside crotch of the end miter welds where

$$M = \text{the larger of } 2.5(r_2T)^{0.5} \text{ or } \tan \theta (R_1 - r_2)$$

The length of taper at the end of the miter pipe may be included in the distance  $M$ .

(d) The following nomenclature is used in Eqs. (4a), (4b), and (4c) for the pressure design of miter bends:

$c$  = same as defined in para. 304.1.1

$E$  = same as defined in para. 304.1.1

$P_m$  = maximum allowable internal pressure for miter bends

$r_2$  = mean radius of pipe using nominal wall  $\bar{T}$

$R_1$  = effective radius of miter bend, defined as the shortest distance from the pipe center line to the intersection of the planes of adjacent miter joints

$S$  = same as defined in para. 304.1.1

$T$  = miter pipe wall thickness (measured or minimum per purchase specification)

$\theta$  = angle of miter cut

$\alpha$  = angle of change in direction at miter joint  
=  $2\theta$

For compliance with this Code, the value of  $R_1$  shall be not less than that given by Eq. (5):

Table A-1

ASME B31.3-1999 Edition

**TABLE A-1 (CONT'D)**  
**BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS<sup>1</sup>**

Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

| Material                                   | Spec. No. | P-No. or<br>S-No.<br>(5) | Grade | Notes    | Min.<br>Temp.,<br>°F (6) | Specified Min.<br>Strength, ksi |       | Min.<br>Temp.<br>to 100 | 200  | 300  |
|--------------------------------------------|-----------|--------------------------|-------|----------|--------------------------|---------------------------------|-------|-------------------------|------|------|
|                                            |           |                          |       |          |                          | Tensile                         | Yield |                         |      |      |
| Carbon Steel (Cont'd)<br>Plates and Sheets |           |                          |       |          |                          |                                 |       |                         |      |      |
| ...                                        | A 285     | 1                        | A     | (57)(59) | B                        | 45                              | 24    | 15.0                    | 14.6 | 14.2 |
| ...                                        | A 285     | 1                        | B     | (57)(59) | B                        | 50                              | 27    | 16.7                    | 16.4 | 16.0 |
| ...                                        | A 516     | 1                        | 55    | (57)     | C                        | 55                              | 30    | 18.3                    | 18.3 | 17.7 |
| ...                                        | A 285     | 1                        | C     | (57)(59) | A                        | 55                              | 30    | 18.3                    | 18.3 | 17.7 |
| ...                                        | A 516     | 1                        | 60    | (57)     | C                        | 60                              | 32    | 20.0                    | 19.5 | 18.9 |
| ...                                        | A 515     | 1                        | 60    | (57)     | B                        | 60                              | 32    | 20.0                    | 19.5 | 18.9 |
| ...                                        | A 516     | 1                        | 65    | (57)     | B                        | 65                              | 35    | 21.7                    | 21.3 | 20.7 |
| ...                                        | A 515     | 1                        | 65    | (57)     | A                        | 65                              | 35    | 21.7                    | 21.3 | 20.7 |
| ...                                        | A 516     | 1                        | 70    | (57)     | B                        | 70                              | 38    | 23.3                    | 23.1 | 22.5 |
| ...                                        | A 515     | 1                        | 70    | (57)     | A                        | 70                              | 38    | 23.3                    | 23.1 | 22.5 |
| (≤ 2½ in. thick)                           | A 537     | 1                        | Cl. 1 | ...      | D                        | 70                              | 50    | 23.3                    | 23.3 | 22.9 |
| (> 1 in. thick)                            | A 299     | 1                        | ...   | (57)     | A                        | 75                              | 40    | 25.0                    | 24.4 | 23.7 |
| (≤ 1 in. thick)                            | A 299     | 1                        | ...   | (57)     | A                        | 75                              | 42    | 25.0                    | 25.0 | 24.8 |
| Plates and Sheets (Structural)             |           |                          |       |          |                          |                                 |       |                         |      |      |
| ...                                        | A 283     | 1                        | A     | (8c)(57) | A                        | 45                              | 24    | 13.8                    | 13.2 | 12.5 |
| ...                                        | A 570     | S-1                      | 30    | (8c)(57) | A                        | 49                              | 30    | 15.0                    | 15.0 | 15.0 |
| ...                                        | A 283     | 1                        | B     | (8c)(57) | A                        | 50                              | 27    | 15.3                    | 14.6 | 14.0 |
| ...                                        | A 570     | S-1                      | 33    | (8c)(57) | A                        | 52                              | 33    | 15.9                    | 15.9 | 15.9 |
| ...                                        | A 570     | S-1                      | 36    | (8c)(57) | A                        | 53                              | 36    | 16.3                    | 16.3 | 16.3 |
| ...                                        | A 283     | 1                        | C     | (8c)(57) | A                        | 55                              | 30    | 16.9                    | 16.1 | 15.3 |
| ...                                        | A 570     | S-1                      | 40    | (8c)(57) | A                        | 55                              | 40    | 16.9                    | 16.9 | 16.9 |
| ...                                        | A 36      | 1                        | ...   | (8c)     | A                        | 58                              | 36    | 17.8                    | 16.9 | 16.9 |
| ...                                        | A 283     | 1                        | D     | (8c)(57) | A                        | 60                              | 33    | 18.4                    | 17.5 | 16.7 |
| ...                                        | A 570     | S-1                      | 45    | (8c)(57) | A                        | 60                              | 45    | 18.4                    | 18.4 | 18.4 |
| ...                                        | A 570     | S-1                      | 50    | (8c)(57) | A                        | 65                              | 50    | 19.9                    | 19.9 | 19.9 |

**TABLE A-1A**  
**BASIC CASTING QUALITY FACTORS  $E_c$**

These quality factors are determined in accordance with para. 302.3.3(b). See also para. 302.3.3(c) and Table 302.3.3C for increased quality factors applicable in special cases. Specifications are ASTM.

| Spec. No.                               | Description                                | $E_c$<br>(2) | Appendix A<br>Notes |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------|--------------|---------------------|
| <b>Iron</b>                             |                                            |              |                     |
| A 47                                    | Malleable iron castings                    | 1.00         | (9)                 |
| A 48                                    | Gray iron castings                         | 1.00         | (9)                 |
| A 126                                   | Gray iron castings                         | 1.00         | (9)                 |
| A 197                                   | Cupola malleable iron castings             | 1.00         | (9)                 |
| A 278                                   | Gray iron castings                         | 1.00         | (9)                 |
| A 395                                   | Ductile and ferritic ductile iron castings | 0.80         | (9)(40)             |
| A 571                                   | Austenitic ductile iron castings           | 0.80         | (9)(40)             |
| <b>Carbon Steel</b>                     |                                            |              |                     |
| A 216                                   | Carbon steel castings                      | 0.80         | (9)(40)             |
| A 352                                   | Ferritic steel castings                    | 0.80         | (9)(40)             |
| <b>Low and Intermediate Alloy Steel</b> |                                            |              |                     |
| A 217                                   | Martensitic stainless and alloy castings   | 0.80         | (9)(40)             |
| A 352                                   | Ferritic steel castings                    | 0.80         | (9)(40)             |
| A 426                                   | Centrifugally cast pipe                    | 1.00         | (10)                |
| <b>Stainless Steel</b>                  |                                            |              |                     |
| A 351                                   | Austenitic steel castings                  | 0.80         | (9)(40)             |
| A 451                                   | Centrifugally cast pipe                    | 0.90         | (10)(40)            |
| A 487                                   | Steel castings                             | 0.80         | (9)(40)             |
| <b>Copper and Copper Alloy</b>          |                                            |              |                     |
| B 61                                    | Steam bronze castings                      | 0.80         | (9)(40)             |
| B 62                                    | Composition bronze castings                | 0.80         | (9)(40)             |
| B 148                                   | Al-Bronze and Si-Al-Bronze castings        | 0.80         | (9)(40)             |
| B 584                                   | Copper alloy castings                      | 0.80         | (9)(40)             |
| <b>Nickel and Nickel Alloy</b>          |                                            |              |                     |
| A 494                                   | Nickel and nickel alloy castings           | 0.80         | (9)(40)             |
| <b>Aluminum Alloy</b>                   |                                            |              |                     |
| B 26, Temper F                          | Aluminum alloy castings                    | 1.00         | (9)(10)             |
| B 26, Temper T6, T71                    | Aluminum alloy castings                    | 0.80         | (9)(40)             |

**TABLE A-1B**  
**BASIC QUALITY FACTORS FOR LONGITUDINAL WELD JOINTS IN PIPES, TUBES, AND FITTINGS  $E_f$**   
 These quality factors are determined in accordance with para. 302.3.4(a). See also para. 302.3.4(b) and Table 302.3.4 for increased quality factors applicable in special cases. Specifications, except API, are ASTM.

| Spec. No.                               | Class (or Type)    | Description                                                       | $E_f$<br>(2) | Appendix A<br>Notes |
|-----------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------|
| <b>Carbon Steel</b>                     |                    |                                                                   |              |                     |
| API 5L                                  | ...                | Seamless pipe                                                     | 1.00         | ...                 |
|                                         | ...                | Electric resistance welded pipe                                   | 0.85         | ...                 |
|                                         | ...                | Electric fusion welded pipe, double butt, straight or spiral seam | 0.95         | ...                 |
|                                         | ...                | Furnace butt welded                                               | 0.60         | ...                 |
| A 53                                    | Type S             | Seamless pipe                                                     | 1.00         | ...                 |
|                                         | Type E             | Electric resistance welded pipe                                   | 0.85         | ...                 |
|                                         | Type F             | Furnace butt welded pipe                                          | 0.60         | ...                 |
| A 105                                   | ...                | Forgings and fittings                                             | 1.00         | (9)                 |
| A 106                                   | ...                | Seamless pipe                                                     | 1.00         | ...                 |
| A 134                                   | ...                | Electric fusion welded pipe, single butt, straight or spiral seam | 0.80         | ...                 |
| A 135                                   | ...                | Electric resistance welded pipe                                   | 0.85         | ...                 |
| A 139                                   | ...                | Electric fusion welded pipe, straight or spiral seam              | 0.80         | ...                 |
| A 179                                   | ...                | Seamless tube                                                     | 1.00         | ...                 |
| A 181                                   | ...                | Forgings and fittings                                             | 1.00         | (9)                 |
| A 234                                   | ...                | Seamless and welded fittings                                      | 1.00         | (16)                |
| A 333                                   | ...                | Seamless pipe                                                     | 1.00         | ...                 |
|                                         | ...                | Electric resistance welded pipe                                   | 0.85         | ...                 |
| A 334                                   | ...                | Seamless tube                                                     | 1.00         | ...                 |
| A 350                                   | ...                | Forgings and fittings                                             | 1.00         | (9)                 |
| A 369                                   | ...                | Seamless pipe                                                     | 1.00         | ...                 |
| A 381                                   | ...                | Electric fusion welded pipe, 100% radiographed                    | 1.00         | (18)                |
|                                         | ...                | Electric fusion welded pipe, spot radiographed                    | 0.90         | (19)                |
|                                         | ...                | Electric fusion welded pipe, as manufactured                      | 0.85         | ...                 |
| A 420                                   | ...                | Welded fittings, 100% radiographed                                | 1.00         | (16)                |
| A 524                                   | ...                | Seamless pipe                                                     | 1.00         | ...                 |
| A 587                                   | ...                | Electric resistance welded pipe                                   | 0.85         | ...                 |
| A 671                                   | 12, 22, 32, 42, 52 | Electric fusion welded pipe, 100% radiographed                    | 1.00         | ...                 |
|                                         | 13, 23, 33, 43, 53 | Electric fusion welded pipe, double butt seam                     | 0.85         | ...                 |
| A 672                                   | 12, 22, 32, 42, 52 | Electric fusion welded pipe, 100% radiographed                    | 1.00         | ...                 |
|                                         | 13, 23, 33, 43, 53 | Electric fusion welded pipe, double butt seam                     | 0.85         | ...                 |
| A 691                                   | 12, 22, 32, 42, 52 | Electric fusion welded pipe, 100% radiographed                    | 1.00         | ...                 |
|                                         | 13, 23, 33, 43, 53 | Electric fusion welded pipe, double butt seam                     | 0.85         | ...                 |
| <b>Low and Intermediate Alloy Steel</b> |                    |                                                                   |              |                     |
| A 182                                   | ...                | Forgings and fittings                                             | 1.00         | (9)                 |
| A 234                                   | ...                | Seamless and welded fittings                                      | 1.00         | (16)                |
| A 333                                   | ...                | Seamless pipe                                                     | 1.00         | ...                 |
|                                         | ...                | Electric resistance welded pipe                                   | 0.85         | ...                 |

(continued)

Table A-1B

ASME B31.3-2002

**TABLE A-1B (CONT'D)**  
**BASIC QUALITY FACTORS FOR LONGITUDINAL WELD JOINTS IN PIPES, TUBES, AND FITTINGS  $E_f$**   
 These quality factors are determined in accordance with para. 302.3.4(a). See also para. 302.3.4(b) and Table 302.3.4 for increased quality factors applicable in special cases. Specifications, except API, are ASTM.

| Spec. No.                                        | Class (or Type)    | Description                                    | $E_f$<br>(2) | Appendix A<br>Notes |
|--------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------|--------------|---------------------|
| <b>Low and Intermediate Alloy Steel (Cont'd)</b> |                    |                                                |              |                     |
| A 334                                            | ...                | Seamless tube                                  | 1.00         | ...                 |
| A 335                                            | ...                | Seamless pipe                                  | 1.00         | ...                 |
| A 350                                            | ...                | Forgings and fittings                          | 1.00         | ...                 |
| A 369                                            | ...                | Seamless pipe                                  | 1.00         | ...                 |
| A 420                                            | ...                | Welded fittings, 100% radiographed             | 1.00         | (16)                |
| A 671                                            | 12, 22, 32, 42, 52 | Electric fusion welded pipe, 100% radiographed | 1.00         | ...                 |
|                                                  | 13, 23, 33, 43, 53 | Electric fusion welded pipe, double butt seam  | 0.85         | ...                 |
| A 672                                            | 12, 22, 32, 42, 52 | Electric fusion welded pipe, 100% radiographed | 1.00         | ...                 |
|                                                  | 13, 23, 33, 43, 53 | Electric fusion welded pipe, double butt seam  | 0.85         | ...                 |
| A 691                                            | 12, 22, 32, 42, 52 | Electric fusion welded pipe, 100% radiographed | 1.00         | ...                 |
|                                                  | 13, 23, 33, 43, 53 | Electric fusion welded pipe, double butt seam  | 0.85         | ...                 |
| <b>Stainless Steel</b>                           |                    |                                                |              |                     |
| A 182                                            | ...                | Forgings and fittings                          | 1.00         | ...                 |
| A 268                                            | ...                | Seamless tube                                  | 1.00         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded tube, double butt seam  | 0.85         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded tube, single butt seam  | 0.80         | ...                 |
| A 269                                            | ...                | Seamless tube                                  | 1.00         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded tube, double butt seam  | 0.85         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded tube, single butt seam  | 0.80         | ...                 |
| A 312                                            | ...                | Seamless tube                                  | 1.00         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded tube, double butt seam  | 0.85         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded tube, single butt seam  | 0.80         | ...                 |
| A 358                                            | 1, 3, 4            | Electric fusion welded pipe, 100% radiographed | 1.00         | ...                 |
|                                                  | 5                  | Electric fusion welded pipe, spot radiographed | 0.90         | ...                 |
|                                                  | 2                  | Electric fusion welded pipe, double butt seam  | 0.85         | ...                 |
| A 376                                            | ...                | Seamless pipe                                  | 1.00         | ...                 |
| A 403                                            | ...                | Seamless fittings                              | 1.00         | ...                 |
|                                                  | ...                | Welded fitting, 100% radiographed              | 1.00         | (16)                |
|                                                  | ...                | Welded fitting, double butt seam               | 0.85         | ...                 |
|                                                  | ...                | Welded fitting, single butt seam               | 0.80         | ...                 |
| A 409                                            | ...                | Electric fusion welded pipe, double butt seam  | 0.85         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded pipe, single butt seam  | 0.80         | ...                 |
| A 487                                            | ...                | Steel castings                                 | 0.80         | (9)(40)             |
| A 789                                            | ...                | Seamless tube                                  | 1.00         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded, 100% radiographed      | 1.00         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded, double butt            | 0.85         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded, single butt            | 0.80         | ...                 |
| A 790                                            | ...                | Seamless pipe                                  | 1.00         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded, 100% radiographed      | 1.00         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded, double butt            | 0.85         | ...                 |
|                                                  | ...                | Electric fusion welded, single butt            | 0.80         | ...                 |

(continued)

**TABLE A-1B (CONT'D)**  
**BASIC QUALITY FACTORS FOR LONGITUDINAL WELD JOINTS IN PIPES, TUBES, AND FITTINGS  $E_j$**   
 These quality factors are determined in accordance with para. 302.3.4(a). See also para. 302.3.4(b) and Table 302.3.4 for increased quality factors applicable in special cases. Specifications, except API, are ASTM.

| Spec. No.                       | Class (or Type) | Description                                   | $E_j$<br>(2) | Appendix A<br>Notes |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|--------------|---------------------|
| <b>Stainless Steel (Cont'd)</b> |                 |                                               |              |                     |
| A 815                           | ...             | Seamless fittings                             | 1.00         | ...                 |
|                                 | ...             | Welded fittings, 100% radiographed            | 1.00         | (16)                |
|                                 | ...             | Welded fittings, double butt seam             | 0.85         | ...                 |
|                                 | ...             | Welded fittings, single butt seam             | 0.80         | ...                 |
| <b>Copper and Copper Alloy</b>  |                 |                                               |              |                     |
| B 42                            | ...             | Seamless pipe                                 | 1.00         | ...                 |
| B 43                            | ...             | Seamless pipe                                 | 1.00         | ...                 |
| B 68                            | ...             | Seamless tube                                 | 1.00         | ...                 |
| B 75                            | ...             | Seamless tube                                 | 1.00         | ...                 |
| B 88                            | ...             | Seamless water tube                           | 1.00         | ...                 |
| B 280                           | ...             | Seamless tube                                 | 1.00         | ...                 |
| B 466                           | ...             | Seamless pipe and tube                        | 1.00         | ...                 |
| B 467                           | ...             | Electric resistance welded pipe               | 0.85         | ...                 |
|                                 | ...             | Electric fusion welded pipe, double butt seam | 0.85         | ...                 |
|                                 | ...             | Electric fusion welded pipe, single butt seam | 0.80         | ...                 |
| <b>Nickel and Nickel Alloy</b>  |                 |                                               |              |                     |
| B 160                           | ...             | Forgings and fittings                         | 1.00         | (9)                 |
| B 161                           | ...             | Seamless pipe and tube                        | 1.00         | ...                 |
| B 164                           | ...             | Forgings and fittings                         | 1.00         | (9)                 |
| B 165                           | ...             | Seamless pipe and tube                        | 1.00         | ...                 |
| B 167                           | ...             | Seamless pipe and tube                        | 1.00         | ...                 |
| B 366                           | ...             | Seamless and welded fittings                  | 1.00         | (16)                |
| B 407                           | ...             | Seamless pipe and tube                        | 1.00         | ...                 |
| B 444                           | ...             | Seamless pipe and tube                        | 1.00         | ...                 |
| B 464                           | ...             | Welded pipe                                   | 0.80         | ...                 |
| B 514                           | ...             | Welded pipe                                   | 0.80         | ...                 |
| B 517                           | ...             | Welded pipe                                   | 0.80         | ...                 |
| B 564                           | ...             | Nickel alloy forgings                         | 1.00         | (9)                 |
| B 619                           | ...             | Electric resistance welded pipe               | 0.85         | ...                 |
|                                 | ...             | Electric fusion welded pipe, double butt seam | 0.85         | ...                 |
|                                 | ...             | Electric fusion welded pipe, single butt seam | 0.80         | ...                 |
| B 622                           | ...             | Seamless pipe and tube                        | 1.00         | ...                 |
| B 675                           | All             | Welded pipe                                   | 0.80         | ...                 |
| B 690                           | ...             | Seamless pipe                                 | 1.00         | ...                 |
| B 705                           | ...             | Welded pipe                                   | 0.80         | ...                 |
| B 725                           | ...             | Electric fusion welded pipe, double butt seam | 0.85         | ...                 |
|                                 | ...             | Electric fusion welded pipe, single butt seam | 0.80         | ...                 |
| B 729                           | ...             | Seamless pipe and tube                        | 1.00         | ...                 |

(continued)



**TABLE A-1B (CONT'D)**  
**BASIC QUALITY FACTORS FOR LONGITUDINAL WELD JOINTS IN PIPES, TUBES, AND FITTINGS  $E_j$**   
 These quality factors are determined in accordance with para. 302.3.4(a). See also para. 302.3.4(b) and Table 302.3.4 for increased quality factors applicable in special cases. Specifications, except API, are ASTM.

| Spec. No.                               | Class (or Type) | Description                                   | $E_j$<br>(2) | Appendix A<br>Notes |
|-----------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|--------------|---------------------|
| <b>Nickel and Nickel Alloy (Cont'd)</b> |                 |                                               |              |                     |
| B 804                                   | 1, 3, 5         | Welded pipe, 100% radiographed                | 1.00         | ...                 |
|                                         | 2, 4            | Welded pipe, double fusion welded             | 0.85         | ...                 |
|                                         | 6               | Welded pipe, single fusion welded             | 0.80         | ...                 |
| <b>Titanium and Titanium Alloy</b>      |                 |                                               |              |                     |
| B 337                                   | ...             | Seamless pipe                                 | 1.00         | ...                 |
|                                         | ...             | Electric fusion welded pipe, double butt seam | 0.85         | ...                 |
| <b>Zirconium and Zirconium Alloy</b>    |                 |                                               |              |                     |
| B 523                                   | ...             | Seamless tube                                 | 1.00         | ...                 |
|                                         | ...             | Electric fusion welded tube                   | 0.80         | ...                 |
| B 658                                   | ...             | Seamless pipe                                 | 1.00         | ...                 |
|                                         | ...             | Electric fusion welded pipe                   | 0.80         | ...                 |
| <b>Aluminum Alloy</b>                   |                 |                                               |              |                     |
| B 210                                   | ...             | Seamless tube                                 | 1.00         | ...                 |
| B 241                                   | ...             | Seamless pipe and tube                        | 1.00         | ...                 |
| B 247                                   | ...             | Forgings and fittings                         | 1.00         | (9)                 |
| B 345                                   | ...             | Seamless pipe and tube                        | 1.00         | ...                 |
| B 361                                   | ...             | Seamless forgings                             | 1.00         | ...                 |
|                                         | ...             | Welded fittings, 100% radiograph              | 1.00         | (18)(23)            |
|                                         | ...             | Welded fittings, double butt                  | 0.85         | (23)                |
|                                         | ...             | Welded fittings, single butt                  | 0.80         | (23)                |
| B 547                                   | ...             | Welded pipe and tube, 100% radiograph         | 1.00         | ...                 |
|                                         | ...             | Welded pipe, double butt seam                 | 0.85         | ...                 |
|                                         | ...             | Welded pipe, single butt seam                 | 0.80         | ...                 |

## APÉNDICE J

### CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISTINTOS FILTROS DE MANGAS [5]

Tabla 3.11.- Características de distintos tipos de fibras para mangas.

| Fibra                                          | Polipropileno    | Poliéster       | Acrílico      | Poliamídico   | Polivinilica  | Politetrafluoroetilénica | Arammidica | Fibra de vidrio            |
|------------------------------------------------|------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|------------|----------------------------|
| Marcas                                         | Meraklon         | Dracon          | Dralon T      | Nylon         | Leavil        | Teflon                   | Nomex      | Fiberglas                  |
| Fabricantes                                    | Montefibre       | Du Pont         | Bayer         | Rhone Poulenc | Montefibre    | Du Pont                  | Du Pont    | Owens                      |
|                                                | Pylon            | Terital         | Orlon         | Nailon        | Saran         |                          |            | Corning                    |
|                                                | Mitsubishi Corp. | Montefibre      | Du Pont       | Montefibre    | Dow Chemical  |                          |            | Vetrotex                   |
|                                                | Courlene         | Trevira         | Crylor        | Perlon        | Rovil         |                          |            | Balzarvetti and Modigliani |
|                                                | Courtaulds       | Hoechst         | Rhone Poulenc | Bayer         | Rhone Poulenc |                          |            | Vetrolon                   |
|                                                | Hostalen         | Soc. Rhodiaceta | Phrix         | Ato Chimie    | Phoenix       |                          |            | Gevetex                    |
|                                                | Hoechst          | Terylene        | Zefran        | Lilion        |               |                          |            |                            |
|                                                |                  | I.C.I.          | Dow Chemical  | Snia Viscosa  |               |                          |            |                            |
|                                                |                  | Diolen          | Leacril       |               |               |                          |            |                            |
|                                                |                  | Glanzstoff      | Montefibre    |               |               |                          |            |                            |
| Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )           | 0.91             | 1.38            | 1.16          | 1.10          | 1.35          | 2.1                      | 1.38       | 2.5                        |
| Humedad absorbida (20°C; H.R. 65%)             | 0.05             | 0.4             | 1-2           | 4             | 0.05          | 0.015                    | 5          | 0                          |
| Resistencia a la tracción (g/cm <sup>2</sup> ) | 4.5-6            | 4.5-7.5         | 2.4-4.5       | 4.5-7.5       | 3             | 1.6                      | 5          | 10-15                      |
| Alargamiento antes de rotura (%)               | 35               | 12              | 17-42         | 19            | 35-40         | 15                       | 19         | 2-4                        |
| Temperatura máxima continua (°C)               | 80-90            | 130-135         | 130-135       | 100-110       | 80-90         | 240-260                  | 200-220    | 280-300                    |
| Temperatura máxima puntual (°C)                | 90-100           | 140             | 135-140       | 120           | 90-100        | 280                      | 260        | 320                        |
| Resistencia química                            |                  |                 |               |               |               |                          |            |                            |
| Ácidos                                         | Excelente        | Buena           | Buena         | Muy baja      | Excelente     | Excelente                | Baja       | Buena                      |
| Bases                                          | Excelente        | Baja            | Buena         | Buena         | Buena         | Excelente                | Buena      | Baja                       |
| Oxidante                                       | Muy baja         | Excelente       | Buena         | Excelente     | Excelente     | Excelente                | Buena      | Excelente                  |
| Disolvente                                     | Muy baja         | Buena           | Buena         | Baja          | Baja          | Excelente                | Buena      | Excelente                  |
| Hidrólisis (calor húmedo)                      | Buena            | Excelente       | Excelente     | Baja          | Buena         | Excelente                | Baja       | Buena                      |
| Coste relativo                                 | x                | x               | xx            |               |               | xxxxx                    | xxxx       | xxx                        |

De Depuración de los gases de combustión en la industria cerámica, ITC, 2001; BHA Group Inc. Guía de referencia y Soluciones de Problemas, 1998.

**Tabla 3.12.- Acabados de fibras para mangas**

|                                     | <i>Propósito</i>                                                                                                         | <i>Aplicación</i>                                                                   |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Acabados para textiles</i>       |                                                                                                                          |                                                                                     |
| Chamuscado                          | Mejora el desprendimiento de la capa de polvo.                                                                           | Poliéster, polipropileno, acrílico, Nomex                                           |
| Barnizado                           | Mejora el desprendimiento de la capa de polvo a corto plazo; puede dificultar el flujo de aire.                          | Poliéster, polipropileno (fieltro y tejido)                                         |
| Silicio                             | Favorece la formación de la precapa; repelencia al agua limitada.                                                        | Poliéster, polipropileno (fieltro y tejido)                                         |
| Retardador de llamas                | Retarda la combustión.                                                                                                   | Poliéster, polipropileno (fieltro y tejido)                                         |
| Acabado acrílico<br>(base de látex) | Mejora la eficacia de filtración y el desprendimiento del polvo (puede dificultar el flujo de aire).                     | Acrílico y poliéster                                                                |
| Laminado membrana<br>PTFE           | Favorece la recolección de partículas. Mejora la eficacia filtración y desprendimiento del polvo.                        | Nomex, acrílico, poliéster, polipropileno (fieltro)                                 |
| Impregnación de PTFE                | Mejora la repelencia al agua y al aceite. Limitado desprendimiento de la capa de polvo.                                  | Nomex (fieltro)                                                                     |
| Resistencia ácida                   | Mejora la resistencia a ácidos.                                                                                          | Nomex (fieltro)                                                                     |
| <i>Fibra de vidrio</i>              |                                                                                                                          |                                                                                     |
| Silicio, grafito, teflón            | Protege contra la abrasión y lubrica la fibra.                                                                           | Condiciones sin ácidos, aplicaciones de cemento y fundición de metales              |
| Resistencia ácida                   | Protege la fibra de vidrio contra ácidos.                                                                                | Calderas de carbón, incineradores, cemento, calderas industriales                   |
| Teflón B                            | Mejora la resistencia a la abrasión, limitada resistencia química.                                                       | Calderas industriales y de servicios con condiciones de pH moderado                 |
| Blue Max CRF-70                     | Mejora resistencia ácida y desalojo del polvo. Mejor resistencia a la abrasión y a bases. Mejor encapsulado de la fibra. | Calderas de carbón (alto y bajo azufre), caldera de lecho fluidizado, negro de humo |

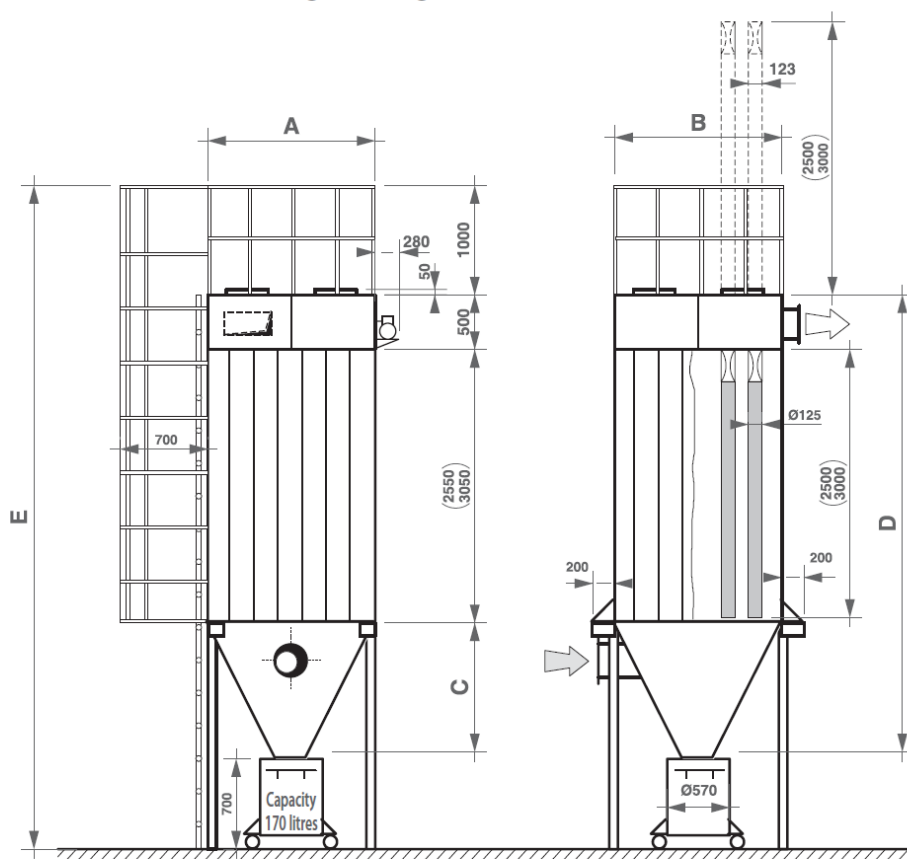
De BHA Group Inc Seminario de Fundamentos y Mantenimiento de los Filtros de Mangas.

# DEDUSTING POLJET Self-cleaning bag filters

2007 technical catalogue  
DP - 41



## POLJET series FZ Modular bag filter in galvanized sheet

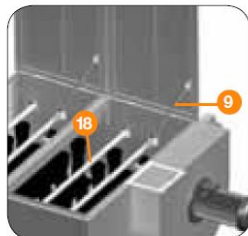
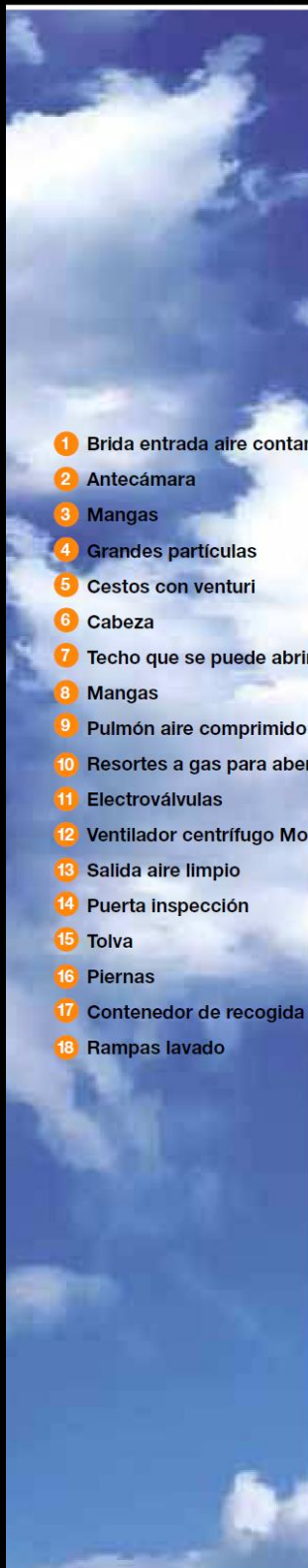


| Model         | Filtering surface (m²) | Number of solenoid valves | Number of bags | Bag height (mm) | A (mm) | B (mm) | C (mm) | D (mm) | E (mm) |
|---------------|------------------------|---------------------------|----------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| FZ 24/24/25   | 24                     | 4                         | 24             | 2500            | 1180   | 820    | 850    | 3950   | 5650   |
| FZ 24/28/30   | 28                     | 4                         | 24             | 3000            | 1180   | 820    | 850    | 4450   | 6150   |
| FZ 36/36/25   | 36                     | 6                         | 36             | 2500            | 1180   | 1180   | 850    | 3950   | 5650   |
| FZ 36/43/30   | 43                     | 6                         | 36             | 3000            | 1180   | 1180   | 850    | 6150   | 6150   |
| FZ 48/48/25   | 48                     | 5                         | 48             | 2500            | 1540   | 1180   | 1150   | 4250   | 5950   |
| FZ 48/57/30   | 57                     | 5                         | 48             | 3000            | 1540   | 1180   | 1150   | 4750   | 6450   |
| FZ 60/60/25   | 60                     | 6                         | 60             | 2500            | 1900   | 1180   | 1450   | 5050   | 6250   |
| FZ 60/72/30   | 72                     | 6                         | 60             | 3000            | 1900   | 1180   | 1450   | 4850   | 6750   |
| FZ 72/72/25   | 72                     | 6                         | 72             | 2500            | 2260   | 1180   | 1750   | 5350   | 6550   |
| FZ 72/86/30   | 86                     | 6                         | 72             | 3000            | 2260   | 1180   | 1750   | 4850   | 7050   |
| FZ 96/96/25   | 96                     | 6                         | 96             | 2500            | 2260   | 1540   | 1750   | 4850   | 6550   |
| FZ 96/115/30  | 115                    | 6                         | 96             | 3000            | 2260   | 1540   | 1750   | 5350   | 7050   |
| FZ 120/120/25 | 120                    | 10                        | 120            | 2500            | 2260   | 1900   | 1750   | 4850   | 6550   |
| FZ 120/144/30 | 144                    | 10                        | 120            | 3000            | 2260   | 1900   | 1750   | 5350   | 7050   |

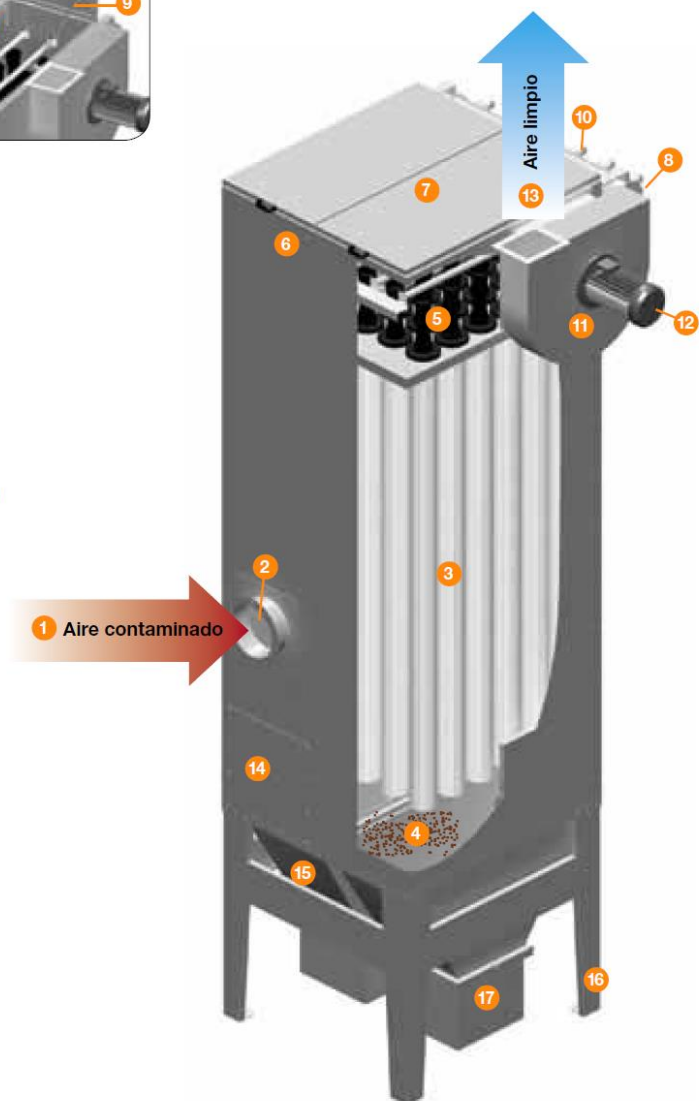
### TECHNICAL NOTES

Standard version with polyester bags 500 gr/m². Versions with different bag heights or greater filtering surfaces are available upon request. Versions in Teflon covered Nomex, antistatic fabrics or other materials are available. Compressed air pressure which is necessary for cleaning: 6,5-7 atm.

## Bag Compact®



- 1 Brida entrada aire contaminado
- 2 Antecámara
- 3 Mangas
- 4 Grandes partículas
- 5 Cestos con venturi
- 6 Cabeza
- 7 Techo que se puede abrir para extracción
- 8 Mangas
- 9 Pulmón aire comprimido
- 10 Resortes a gas para abertura techo
- 11 Electroválvulas
- 12 Ventilador centrífugo Motor
- 13 Salida aire limpio
- 14 Puerta inspección
- 15 Tolva
- 16 Piernas
- 17 Contenedor de recogida polvo
- 18 Rampas lavado



### El funcionamiento

El aire contaminado entra en el filtro a través de una antecámara que favorece la separación de las partículas grandes; luego el flujo atraviesa las mangas depositando fuera de las mismas el contaminante, mientras que el aire limpio es descargado desde la cabeza del filtro. Un cuadro cíclico electrónico se encarga de la limpieza de las mangas con aire comprimido siguiendo un orden.

## APÉNDICE K

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS VENTILADORES SELECCIONADOS [21]

#### VENTILADOR 1 / AUXILIAR RAMAL 1

##### **CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS:**

- .Carcasa fabricada en chapa de acero laminado.
- .Carcasa totalmente soldada.
- .Turbina de alabes curvados hacia atrás (a reacción) de simple aspiración y alto rendimiento, fabricada en chapa de acero laminado y recubierta contra la corrosión en polvo de resina epoxy.
- .El ventilador se suministrará en ejecución estándar a 'EJE LIBRE', es decir sin motor, poleas ni correas.
- .Protegidos contra la corrosión mediante recubrimiento en polvo de resina epoxy.

##### **APLICACIONES:**

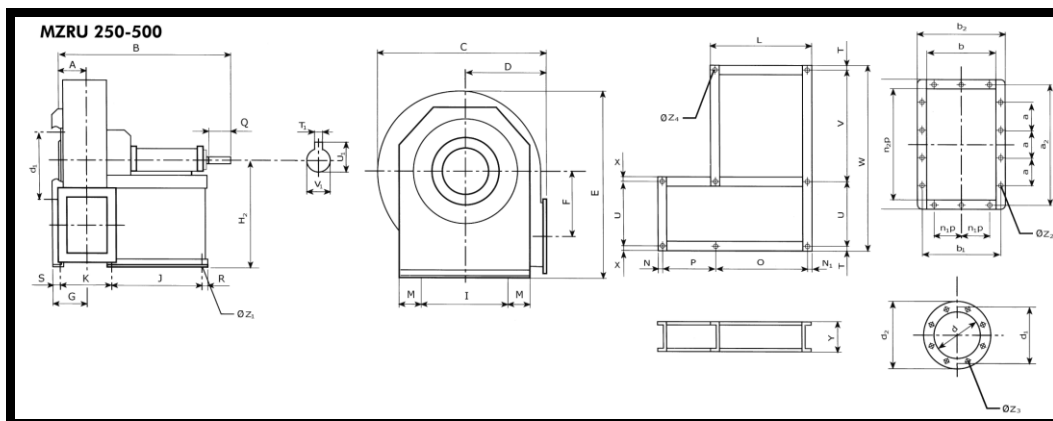
- Diseñados para instalación en conducto, son indicados para:
  - . Procesos industriales, extracción o inyección localizada.
  - . Refrigeración de máquinas, enfriamiento de piezas.
  - . Aire limpio y transporte neumático.
  - . Transporte de aire polvoriento o con ligera carga de materiales granulados.
  - . Temperatura máxima de trabajo en continuo: aire transportado: 200°C, ambiente: 60°C.

##### **BAJO DEMANDA:**

- .Ventiladores completos que incluyen: motor, poleas, correas, protector de correas y de eje.
- .Montados sobre bancada general.
- .Ventiladores antideflagrantes o antiexplosivos con motor certificado ATEX.
- .Ventilador preparado para aire hasta 250°C, 300°C o 450°C.
- .Ventiladores fabricados en chapa galvanizada en caliente o acero inoxidable.

|                  |                   |  |                          |      |
|------------------|-------------------|--|--------------------------|------|
| Turbina rpm      | 3150              |  | Potencia (kW)            | 18.5 |
| Motor rpm        | 2935              |  | I <sub>max</sub> 230V(A) | -    |
| Peso aprox. (kg) | 172 + 140 (motor) |  | I <sub>max</sub> 400V(A) | 32   |
|                  |                   |  | I <sub>max</sub> 690V(A) | 18.4 |

#### **ESQUEMA DE DIMENSIONES**

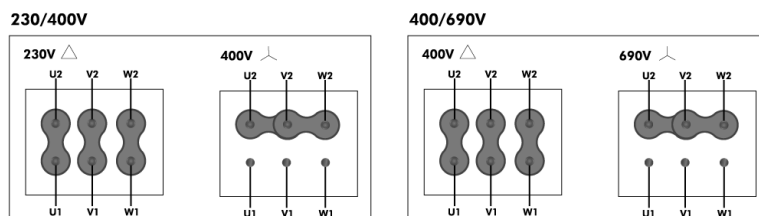


|   |      |
|---|------|
| A | 177  |
| B | 1058 |

|     |      |
|-----|------|
| C   | 940  |
| D   | 400  |
| E   | 1126 |
| F   | 390  |
| G   | 214  |
| H2  | 670  |
| I   | 632  |
| J   | 477  |
| K   | 410  |
| L   | 543  |
| M   | 30   |
| N   | 23   |
| N1  | 33   |
| O   | 477  |
| P   | 410  |
| Q   | 110  |
| R   | 33   |
| S   | 23   |
| T   | 30   |
| U   | 632  |
| V   | 678  |
| W   | 1370 |
| X   | 30   |
| Y   | 160  |
| Z1  | 17   |
| Z2  | 12   |
| Z3  | 10   |
| Z4  | 18   |
| a   | 125  |
| a1  | 533  |
| a2  | 497  |
| b   | 322  |
| b1  | 366  |
| b2  | 402  |
| n1p | 125  |
| n2p | 453  |
| d   | 455  |
| d1  | 497  |
| d2  | 535  |

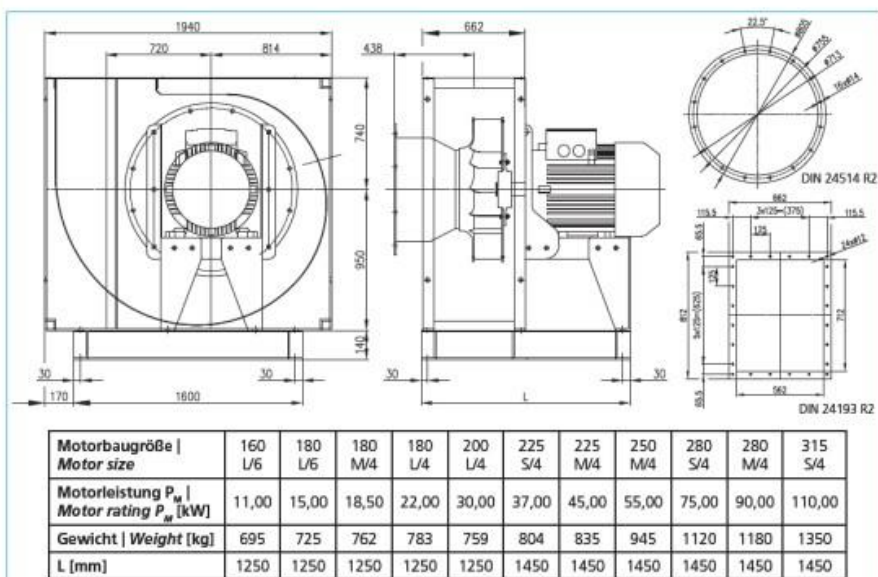
|    |      |
|----|------|
| T1 | 14   |
| U1 | 51,5 |
| V1 | 48   |

## ESQUEMA DE CONEXIONES



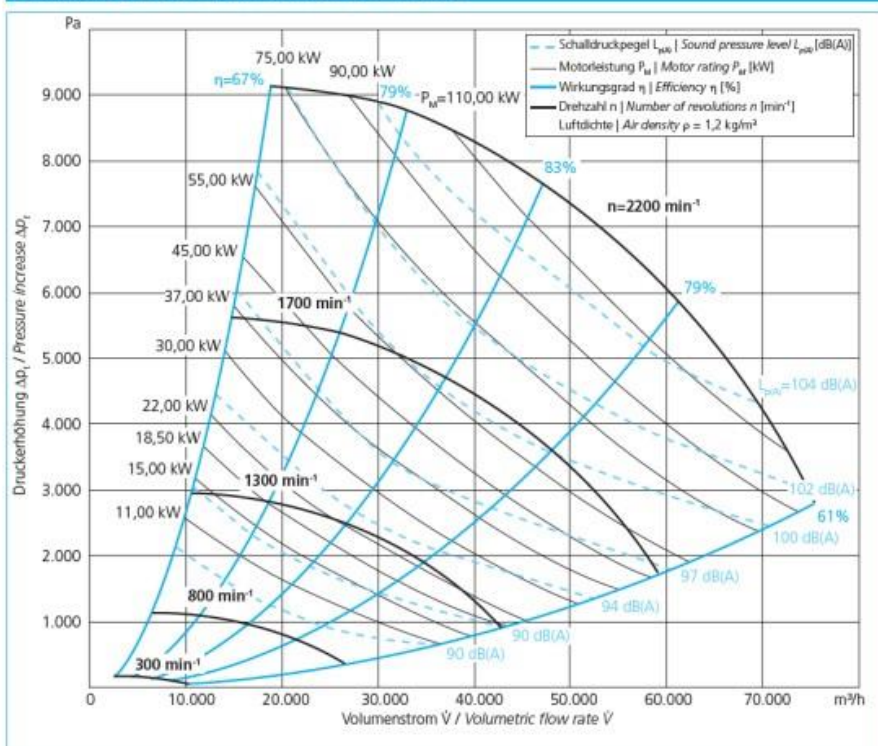


**VENTILADOR 2 / PRINCIPAL RAMAL 2**

CFH  
710

Maße in mm - unverbindlich. | Dimension in mm - subject to modifications.

### Kennlinien CFH 710 / Characteristic curve CFH 710



Technische und konstruktive Änderungen vorbehalten.  
Technical and constructional subject to change.

06/2010

# APÉNDICE L

## PARAMETROS PARA EL DISEÑO DE LOS TUBOS VENTURI [10]

**Tabla 3.3.12 Coeficientes ASME para tubos Venturi**

| Tipo de cono de admisión       | Número de Reynolds $R_d$ |                 | Diámetro de admisión $D$ , pulg<br>( $2.54 \times 10^{-2}$ m) |     | $\beta$ |      | C     | Tolerancia % |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------|-----|---------|------|-------|--------------|
|                                | Mín                      | Máx             | Mín                                                           | Máx | Mín     | Máx  |       |              |
| Maquinado                      |                          | $1 \times 10^6$ | 2                                                             | 10  |         | 0.75 | 0.995 | $\pm 1.0$    |
| Lámina metálica áspera soldada | $5 \times 10^5$          |                 | 8                                                             | 48  | 0.4     | 0.70 | 0.985 | $\pm 1.5$    |
| Fundición áspera               |                          | $2 \times 10^6$ | 4                                                             | 32  | 0.3     | 0.75 | 0.984 | $\pm 0.7$    |

FUENTE: Recopilado de los datos que se dan en *Fluid Meters*, 6a. ed., ASME, 1971.

**Tabla 3.3.13 Factores de expansión y relaciones críticas de presiones para tubos Venturi y boquillas de flujo**

| $\beta$ | $k$  | Valores críticos |        | Factor de expansión $Y$ |            |            |            |
|---------|------|------------------|--------|-------------------------|------------|------------|------------|
|         |      | $r_c$            | $Y_c$  | $r = 0.60$              | $r = 0.70$ | $r = 0.80$ | $r = 0.90$ |
| 0       | 1.10 | 0.5846           | 0.6894 | 0.7021                  | 0.7820     | 0.8579     | 0.9304     |
|         | 1.20 | 0.5644           | 0.6948 | 0.7228                  | 0.7981     | 0.8689     | 0.9360     |
|         | 1.30 | 0.5457           | 0.7000 | 0.7409                  | 0.8119     | 0.8783     | 0.9408     |
|         | 1.40 | 0.5282           | 0.7049 | 0.7568                  | 0.8240     | 0.8864     | 0.9449     |
| 0.20    | 1.10 | 0.5848           | 0.6892 | 0.7017                  | 0.7817     | 0.8577     | 0.9303     |
|         | 1.20 | 0.5546           | 0.6946 | 0.7225                  | 0.7978     | 0.8687     | 0.9359     |
|         | 1.30 | 0.5459           | 0.6998 | 0.7406                  | 0.8117     | 0.8781     | 0.9407     |
|         | 1.40 | 0.5284           | 0.7047 | 0.7576                  | 0.8237     | 0.8862     | 0.9448     |
| 0.50    | 1.10 | 0.5921           | 0.6817 | 0.6883                  | 0.7699     | 0.8485     | 0.9250     |
|         | 1.20 | 0.5721           | 0.6872 | 0.7094                  | 0.7864     | 0.8600     | 0.9310     |
|         | 1.30 | 0.5535           | 0.6923 | 0.7278                  | 0.8007     | 0.8699     | 0.9361     |
|         | 1.40 | 0.5362           | 0.6973 | 0.7440                  | 0.8133     | 0.8785     | 0.9405     |
| 0.60    | 1.10 | 0.6006           | 0.6729 |                         | 0.7556     | 0.8374     | 0.9186     |
|         | 1.20 | 0.5808           | 0.6784 | 0.6939                  | 0.7727     | 0.8495     | 0.9250     |
|         | 1.30 | 0.5625           | 0.6836 | 0.7126                  | 0.7875     | 0.8599     | 0.9305     |
|         | 1.40 | 0.5454           | 0.6885 | 0.7292                  | 0.8006     | 0.8689     | 0.9352     |
| 0.70    | 1.10 | 0.6160           | 0.6570 |                         | 0.7290     | 0.8160     | 0.9058     |
|         | 1.20 | 0.5967           | 0.6624 | 0.6651                  | 0.7469     | 0.8292     | 0.9131     |
|         | 1.30 | 0.5788           | 0.6676 | 0.6844                  | 0.7626     | 0.8405     | 0.9193     |
|         | 1.40 | 0.5621           | 0.6726 | 0.7015                  | 0.7765     | 0.8505     | 0.9247     |
| 0.80    | 1.10 | 0.6441           | 0.6277 |                         | 0.6778     | 0.7731     | 0.8788     |
|         | 1.20 | 0.6238           | 0.6331 |                         | 0.6970     | 0.7881     | 0.8877     |
|         | 1.30 | 0.6087           | 0.6383 |                         | 0.7140     | 0.8012     | 0.8954     |
|         | 1.40 | 0.5926           | 0.6433 | 0.6491                  | 0.7292     | 0.8182     | 0.9021     |

FUENTE: Murdock, *Fluid Mechanics and Its Applications*, Houghton Mifflin, 1976.

## APÉNDICE M

### VARIABLES PARA EL DISEÑO DE CHIMENEAS [20]

La presión de diseño del viento se determina para cualquier altura mediante la siguiente fórmula

$$P = q_s C_e C_q$$

donde

$P$  = presión de diseño del viento, lb/pie<sup>2</sup>

$q_s$  = presión de estancamiento del viento a la altura estándar de 30 pies tal como fue tabulada.

|                                     |    |    |    |     |     |     |     |
|-------------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| Velocidad básica del viento, mph    | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| Presión $q_s$ , lb/pie <sup>2</sup> | 13 | 17 | 21 | 26  | 31  | 37  | 44  |

$C_q$  = Coeficiente de presión (factor de forma):

Torres cuadradas o rectangulares..... 1.4

Torres hexagonales u octagonales..... 1.1

Torres redondas o elípticas..... 0.8

(Si hay cualquier equipo conectado a la torre, se recomienda incrementar  $C_q$  hasta 0.9 para recipientes cilíndricos.)

$C_e$  = Altura combinada, exposición y coeficiente del factor por ráfagas como se ha tabulado:

| Altura sobre el piso, pies | Coeficiente $C_e$ |              |
|----------------------------|-------------------|--------------|
|                            | Exposición C      | Exposición B |
| 0- 20                      | 1.2               | 0.7          |
| 20- 40                     | 1.3               | 0.8          |
| 40- 60                     | 1.5               | 1.0          |
| 60-100                     | 1.6               | 1.1          |
| 100-150                    | 1.8               | 1.3          |
| 150-200                    | 1.9               | 1.4          |
| 200-300                    | 2.1               | 1.6          |
| 300-400                    | 2.2               | 1.8          |

La exposición C representa la más severa, en terreno plano y generalmente abierto, que se extiende media milla o más desde donde se localiza la torre. Las grandes plantas petroquímicas están en esta categoría. La exposición B es para un terreno en el cual hay construcciones, bosques o irregularidades en el suelo de 20 o más pies de altura que cubre 20 por ciento de área, extendiéndose una milla o más desde donde se ubica la torre.

## **APÉNDICE N**

**COSTOS DE EQUIPOS (DUCTOS, ACCESORIOS, VENTILADORES,  
CHIMENEA)**

| TABLA N 4.1                                                      |                |            |       |           |          |        |       |       |              |                |                    |
|------------------------------------------------------------------|----------------|------------|-------|-----------|----------|--------|-------|-------|--------------|----------------|--------------------|
| COSTOS DE EQUIPOS A (DUCTOS, ACCESORIOS, VENTILADORES, CHIMENEA) |                |            |       |           |          |        |       |       |              |                |                    |
| EQUIPOS                                                          | MATERIAL       | PARÁMETROS |       |           |          |        | CANT. | COSTO | NOMENCLATURA | LONGITUD (pie) | SUB TOTAL \$ (USD) |
|                                                                  |                | a          | b     | Af (pie²) | d (pulg) | d (mm) |       |       |              |                |                    |
| CAMPANA RAMAL 2                                                  | ACERO ASTM A36 | 497        | 0.336 | 5.82      | 32.7     | 830    | 1     | 898   | Ch (USD)     | N/A            | 898.40             |
| CAMPANA RAMAL 1                                                  | FRP            | 128        | 0.577 | 0.34      | 7.9      | 200    | 8     | 548   | Ch (USD)     | N/A            | 4382.21            |
| BRAZO MOVIBLE/ACCES.                                             | PVC/ALUMINIO   | N/A        | N/A   | N/A       | N/A      | N/A    | 8     | 1349  | BM (USD)     | N/A            | 10792.00           |
| CONDUCTOS RAMAL 1 CON REDUCTORES                                 |                |            |       |           |          |        |       |       |              |                |                    |
| TRAMO A                                                          | ACERO ASTM A36 | 2.03       | 0.784 | 0.09      | 4.1      | 105    | 1     | 6     | Cd (USD/pie) | 51             | 315.51             |
| TRAMO B                                                          | ACERO ASTM A36 | 2.03       | 0.784 | 0.19      | 5.9      | 149    | 1     | 8     | Cd (USD/pie) | 51             | 414.01             |
| TRAMO C                                                          | ACERO ASTM A36 | 2.03       | 0.784 | 0.28      | 7.2      | 182    | 1     | 10    | Cd (USD/pie) | 51             | 485.33             |
| TRAMO D                                                          | ACERO ASTM A36 | 2.03       | 0.784 | 0.37      | 8.3      | 210    | 1     | 11    | Cd (USD/pie) | 49             | 521.96             |
| TRAMO E                                                          | ACERO ASTM A36 | 2.03       | 0.784 | 0.47      | 9.3      | 235    | 1     | 12    | Cd (USD/pie) | 49             | 569.68             |
| TRAMO F                                                          | ACERO ASTM A36 | 2.03       | 0.784 | 0.56      | 10.1     | 258    | 1     | 12    | Cd (USD/pie) | 58             | 724.27             |
| TRAMO G                                                          | ACERO ASTM A36 | 2.03       | 0.784 | 0.66      | 11.0     | 278    | 1     | 13    | Cd (USD/pie) | 90             | 1193.87            |
| TRAMO H                                                          | ACERO ASTM A36 | 2.03       | 0.784 | 0.75      | 11.7     | 298    | 1     | 14    | Cd (USD/pie) | 90             | 1258.03            |
| CONDUCTOS RAMAL 2 CON REDUCTORES                                 |                |            |       |           |          |        |       |       |              |                |                    |
| TRAMOS I - J - K                                                 | ACERO ASTM A36 | 2.03       | 0.784 | 5.82      | 32.7     | 830    | 1     | 31    | Cd (USD/pie) | 23             | 718.44             |
| TRAMOS P - Q - R - S                                             | ACERO ASTM A36 | 2.03       | 0.784 | 6.58      | 34.7     | 882    | 1     | 33    | Cd (USD/pie) | 56             | 1834.60            |
| CODOS 90 RAMAL 1/TRAMO E                                         | ACERO ASTM A36 | 30.4       | 0.059 | 0.47      | 9.3      | 235    | 4     | 211   | Cd (USD)     | N/A            | 843.25             |
| CODOS 45 RAMAL 1/TRAMO H                                         | ACERO ASTM A36 | 30.4       | 0.059 | 0.75      | 11.7     | 298    | 4     | 244   | Cd (USD)     | N/A            | 975.57             |
| CONEXION Y 60                                                    |                |            |       |           |          |        |       |       |              |                |                    |
| TRAMO A                                                          | ACERO ASTM A36 | N/A        | N/A   | N/A       | 4.1      | 105    | 1     | 175   | (USD)        | N/A            | 175.00             |
| TRAMO B                                                          | ACERO ASTM A36 | N/A        | N/A   | N/A       | 5.9      | 149    | 1     | 190   | (USD)        | N/A            | 190.00             |
| TRAMO C                                                          | ACERO ASTM A36 | N/A        | N/A   | N/A       | 7.2      | 182    | 1     | 230   | (USD)        | N/A            | 230.00             |
| TRAMO D                                                          | ACERO ASTM A36 | N/A        | N/A   | N/A       | 8.3      | 210    | 1     | 250   | (USD)        | N/A            | 250.00             |
| TRAMO E                                                          | ACERO ASTM A36 | N/A        | N/A   | N/A       | 9.3      | 235    | 1     | 270   | (USD)        | N/A            | 270.00             |
| TRAMO F                                                          | ACERO ASTM A36 | N/A        | N/A   | N/A       | 10.1     | 258    | 1     | 290   | (USD)        | N/A            | 290.00             |
| TRAMO G                                                          | ACERO ASTM A36 | N/A        | N/A   | N/A       | 11.0     | 278    | 1     | 320   | (USD)        | N/A            | 320.00             |
| TRAMO H                                                          | ACERO ASTM A36 | N/A        | N/A   | N/A       | 11.7     | 298    | 1     | 350   | (USD)        | N/A            | 350.00             |

[illegible]

## **APÉNDICE O**

### **TABLAS Y FIGURAS PARA EL CÁLCULO DE COSTOS DEL FILTRO DE MANGAS Y PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO**

- ☞ Costos de consumo de Energía eléctrica. Cuadro 31.
- ☞ Listas de Curvas de Costos para Filtros de Mangas. Tabla 1.7. [19]
- ☞ Costo de Equipos para Filtros de chorro a pulso. Figura 1.8. [19]
- ☞ Factores de costo de Capital para Filtro. Tabla 1.9. [19]
- ☞ Precio de Compra de brida a brida de un Precipitador electrostático del tipo Seco vs Área de Placa. Figura 3.5 [19]
- ☞ Opciones estándares para equipos básicos PES. Tabla 3.12 [18]

**Cuadro 31: Costos de consumo de energía eléctrica\* (US\$ por Kwh)**

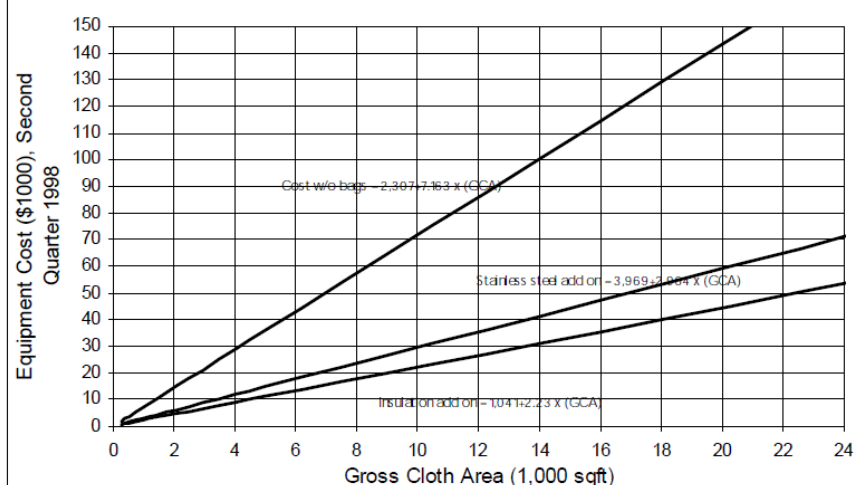
| Categorías                           | Quito         | Guayaquil     | Cuenca        |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Servicio residencial:</b>         |               |               |               |
| Bloques de consumo (9 escalas)       | 0.068 a 0.089 | 0.068 a 0.093 | 0.081 a 0.114 |
| <b>Comerciales:</b>                  |               |               |               |
| 0-300 Kwh                            | 0.061         | 0.062         | 0.072         |
| Superior                             | 0.084         | 0.090         | 0.099         |
| <b>Industrial artesanal:</b>         |               |               |               |
| 0-300 Kwh                            | 0.052         | 0.054         | 0.063         |
| Superior                             | 0.084         | 0.090         | 0.099         |
| <b>Alta tensión: (voltaje 40 KV)</b> |               |               |               |
| de 07h00-22h00                       | 0.051         | 0.046         | 0.620         |
| de 22h00-07h00                       | 0.045         | 0.041         | 0.560         |

\* En cada planilla se añade el cargo de US\$1.414 por comercialización. En Guayaquil este valor sube hasta US\$7.066 en consumo superiores a 300 Kwh

Fuente: CONELEC

**Tabla 1.7: Lista de Curvas de Costo para Siete Tipos de Casas de Bolsas**

| Tipo de Casas de Bolsas         |                              | Figura No. |
|---------------------------------|------------------------------|------------|
| <u>Unidades Pre-ensambladas</u> |                              |            |
| Intermitente                    | Agitador (intermitente)      | 1,6        |
| Continuo                        | Agitador (modular)           | 1,7        |
| Continuo                        | Chorro Pulsante (caja común) | 1,8        |
| Continuo                        | Chorro Pulsante (modular)    | 1,9        |
| Continuo                        | Chorro Pulsante (cartucho)   | 1,1        |
| Continuo                        | Aire a la Inversa            | 1,11       |
| <u>Unidades Ensambladas</u>     |                              |            |
| <u>en el Campo</u>              |                              |            |
| Continuo                        | Cualquier método             | 1,12       |



**Figura 1.8: Costos de Equipo para los Filtros con Chorro a Pulso (de Caja Común)**

Note: this graph should not be extrapolated

Note: GCA= Gross Cloth Area in sqft

Source: ETS Inc.



**Tabla 1.9:** Factores de Costo de Capital para Filtros de Tela <sup>a</sup>

| <b>Elementos de Costo</b>                                              | <b>Factor</b>                     |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Costos Directos - <i>DC</i></b>                                     |                                   |
| Costos de Equipo Adquirido                                             |                                   |
| Filtro de tela (costo de equipo) + bolsas + equipo auxiliar            | Tal como sea estimado, A          |
| Instrumentación                                                        | 0.10 A                            |
| Impuestos sobre la venta                                               | 0.03 A                            |
| Transporte                                                             | <u>0.05 A</u>                     |
| Costo de Equipo Adquirido ( <i>PEC</i> )                               | B = 1.18 A                        |
| Costos Directos de Instalación                                         |                                   |
| Cimientos y soportes                                                   | 0.04 B                            |
| Manejo y erección                                                      | 0.50 B                            |
| Sistema eléctrico                                                      | 0.08 B                            |
| Tubería                                                                | 0.01 B                            |
| Aislamiento para el sistema de conductos <sup>b</sup>                  | 0.07 B                            |
| Pintura <sup>c</sup>                                                   | <u>0.04 B</u>                     |
| Costo Directo de Instalación                                           | 0.74 B                            |
| <i>Site preparation</i> - <i>SP</i> (preparación del sitio)            | Tal como sea requerido, <i>SP</i> |
| Edificaciones                                                          | Tal como sea requerido, Edif.     |
| <b>Costo Directo Total (<i>DC</i>)</b>                                 | <b>1.74 B + <i>SP</i> + Edif.</b> |
| <b>Costos Indirectos - <i>IC</i> (instalación)</b>                     |                                   |
| Ingeniería                                                             | 0.10 B                            |
| Gastos de construcción y campo                                         | 0.20 B                            |
| Honorarios del constructor                                             | 0.10 B                            |
| Inicio de obra                                                         | 0.01 B                            |
| Prueba de rendimiento                                                  | 0.01 B                            |
| Contingencias                                                          | <u>0.03 B</u>                     |
| <b>Costo Indirecto Total (<i>IC</i>)</b>                               | <b>0.45 B</b>                     |
| <b>Inversión de Capital Total (<i>TCI</i>) = <i>DC</i> + <i>IC</i></b> | <b>2.19 B + <i>SP</i> + Edif.</b> |

<sup>a</sup> Referencia [24], revisada

<sup>b</sup> Costos del sistema de conductos y la chimenea, incluyendo los costos del aislamiento, pueden ser obtenidos del capítulo 10 del manual. Este factor de instalación se refiere únicamente a el aislamiento de las cajas de los ventiladores y otros auxiliares, excepto los sistemas de conductos y las torres de chimenea.

<sup>c</sup> El uso incrementado de recubrimientos especiales pudiera aumentar este factor hasta 0.6 B o más. [Los factores presentados en la tabla 5.8 son para las condiciones de instalación promedio. Se puede observar una variación considerable con otras circunstancias de instalación diferentes del promedio.]

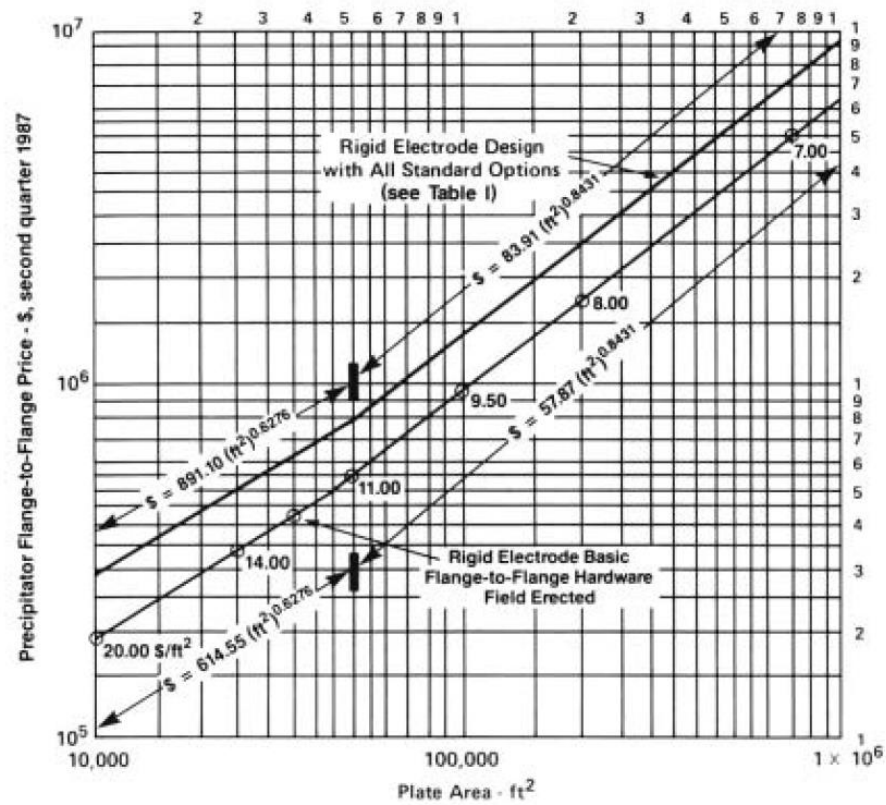


Figura 3.5: Precio de compra de brida-a-brida de un PES del tipo Seco vs. área de placa.

## **APÉNDICE P**

**HOJA DE DATOS – TECNOLOGÍA DE CONTROL DE CONTAMINANTES DEL  
AIRE EPA-452/F-03-017**



## Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire

**Nombre de la Tecnología:** Depurador Tipo Venturi

Este tipo de tecnología es una parte del grupo de controles para la contaminación del aire llamados colectivamente "depuradores en húmedo." Los depuradores tipo venturi también son conocidos como depuradores de chorro tipo venturi, depuradores por aspersion atomizadores de gas, y eyectores-depuradores tipo venturi.

**Tipo de Tecnología:** Remoción de contaminantes del aire por interceptación inercial y difusión.

**Contaminantes Aplicables:**

Los depuradores tipo venturi son usados principalmente para el control de materia particulada (MP), incluyendo MP menor o igual a 10 micras ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro aerodinámico ( $\text{MP}_{10}$ ), materia particulada menor o igual a  $2.5 \mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico ( $\text{MP}_{2.5}$ ). Aunque son capaces de cierto control incidental de los compuestos orgánicos volátiles (COV), los depuradores tipo venturi están limitados a controlar MP y gases con alta solubilidad (*U.S. Environmental Protection Agency - EPA*, la agencia de protección ambiental de EE.UU., 1992; *EPA*, 1996).

**Límites de Emisión Alcanzables/Reducciones:**

Las eficiencias de recolección de los depuradores tipo venturi varían del 70 a más del 99 por ciento, dependiendo de la aplicación. Las eficiencias de recolección son generalmente más altas para la MP con diámetros aerodinámicos de aproximadamente 0.5 a 5 mm. Algunos depuradores tipo venturi están diseñados con una garganta ajustable para controlar la velocidad de la corriente de gas y la caída de presión. El aumento de la eficiencia del depurador tipo venturi requiere un incremento en la caída de presión lo cual, a su vez, aumenta el consumo de energía (*Corbitt*, 1990; *EPA*, 1998).

**Tipo de Fuente Aplicable:** Punto.

**Aplicaciones Industriales Típicas:**

Los depuradores tipo venturi han sido aplicados al control de las emisiones de MP proveniente de las calderas termoeléctricas, industriales, comerciales, e institucionales que son alimentadas con carbón, aceite, madera, y residuos líquidos. También han sido aplicadas al control de fuentes de emisión en las industrias químicas, de productos minerales, madera, pulpa y papel, de productos de piedra, y manufactureras de asfalto; las industrias del plomo, aluminio, hierro y acero, y acero gris; y a los incineradores municipales de residuos sólidos. Típicamente, los depuradores tipo venturi son aplicados donde es necesario obtener altas eficiencias de recolección para MP fina. Por lo tanto, estas son aplicables para controlar las fuentes de emisiones con altas concentraciones de MP menor de una micra (*EPA*, 1995; *Turner*, 1999).

**Características de la Corriente de Emisión:**

- a. **Flujo de Aire:** Las proporciones del flujo de gas típicas para una unidad depuradora tipo venturi con una sola garganta son de 0.2 a 47 metros cúbicos a condiciones estándares por segundo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (500 a 100,000 pies cúbicos a condiciones estándares por minuto (*scfm*)) (*EPA*, 2002).

- b. **Temperatura:** Las temperaturas de entrada suelen estar dentro del rango de 4 a 400°C (40 a 750 °F) (EPA, 2002).
- c. **Carga de Contaminantes:** Las cargas de contaminantes del gas de desecho pueden variar de 1 a 115 gramos por metro cúbico a condiciones estándares ( $g/m^3$ ) (0.1 a 50 granos por pie cúbico a condiciones estándares ( $gr/scf$ )) (Turner, 1999; Dixit, 1999).
- d. **Otras Consideraciones:** En situaciones en donde el gas de desecho contiene tanto particulados como gases a ser controlados, los depuradores tipo venturi a veces son utilizados como un dispositivo de pre-tratamiento, removiendo la MP para evitar la obstrucción de un dispositivo corriente abajo, tal como un depurador con lecho empacado, el cual diseñado para recolectar principalmente a los contaminantes gaseosos.

#### Requisitos de Pre-tratamiento de la Corriente de Emisión:

Generalmente, no se requiere un pre-tratamiento para los depuradores tipo venturi, aunque en algunos casos el gas de desecho es humedecido para reducir la temperatura en los depuradores fabricados con materiales que son afectados por temperaturas altas (Dixit, 1999).

#### Información de Costos:

Los siguientes datos son los rangos de costo (expresados en dólares del 2002) para los depuradores en húmedo tipo venturi de diseño convencional bajo condiciones típicas de operación, desarrollados usando el Manual de Costos de Control de Contaminación de la EPA. Para el propósito de calcular el ejemplo de efectividad de costo, se supone que el contaminante utilizado es MP a una carga de entrada de aproximadamente  $7 g/m^3$  ( $3 gr/scf$ ) y que la eficiencia de control es del 99%. Los costos no incluyen los costos de ventiladores y bombas para el tratamiento o desecho del solvente usado o residuos. Los costos reales pueden ser sustancialmente más altos que en los rangos mostrados para aplicaciones que requieren materiales costosos, solventes, o métodos de tratamiento. Como regla, las unidades más pequeñas controlando una corriente de baja concentración de desecho serán mucho más costosas (por unidad de proporción de flujo volumétrico) que una unidad grande limpiando un flujo con una carga alta de contaminantes.

- a. **Costo de Capital:** \$5,300 a \$45,000 por  $m^3/s$ , (\$2.5 a \$21 por  $scfm$ )
- b. **Costo de Operación y Mantenimiento:** \$9,300 a 254,000 por  $m^3/s$ , (\$4.4 a \$120 por  $scfm$ ), anualmente
- c. **Costo Anualizado:** \$12,000 a \$409,000 por  $m^3/s$ , (\$5.7 a \$193 por  $scfm$ ), anualmente
- d. **Efectividad de Costo:** \$77 a \$2,600 por tonelada métrica (\$70 a \$2,400 por tonelada corta), costo anualizado por tonelada por año de contaminante controlado.

#### Teoría de Operación:

Un depurador tipo venturi acelera la corriente del gas de desecho para atomizar el líquido depurador y para mejorar el contacto entre el gas y el líquido. En un depurador tipo venturi, una sección de "garganta" es construida en el interior del ducto la cual fuerza a la corriente de gas a acelerarse a medida que el ducto se estrecha y enseguida se expande. A medida que el gas entra en la garganta tipo venturi, tanto la velocidad como la turbulencia del gas aumentan. Dependiendo del diseño del depurador, el líquido depurador es rociado dentro de la corriente de gas antes de que el gas se encuentre con la garganta tipo venturi, o en la

## **APÉNDICE Q**

**HOJA DE DATOS – TECNOLOGÍA DE CONTROL DE CONTAMINANTES DEL  
AIRE EPA-452/F-03-005**





## Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire

### Nombre de la Tecnología: Ciclones

Este tipo de tecnología es una parte del grupo de controles de la contaminación del aire, conocidos colectivamente como "pre-limpiadores," debido a que a menudo se utilizan para reducir la carga de entrada de Materia Particulada (MP), a los dispositivos finales de captura, al remover las partículas abrasivas de mayor tamaño. Los ciclones también se les conoce como ciclones colectores, ciclones separadores, separadores centrífugos y separadores inerciales. En las aplicaciones donde operan muchos ciclones pequeños en paralelo, el sistema total se le conoce como ciclón de tubos múltiples, multi-ciclón o multiclón.

**Tipo de Tecnología:** Remoción de MP por fuerzas centrífugas e inerciales, inducidas al forzar el cambio de dirección del gas cargado de partículas.

### Contaminantes Aplicables:

Los ciclones se usan para controlar la MP, principalmente la MP de diámetro aerodinámico mayor de 10 micras ( $\mu\text{m}$ ). Hay sin embargo, ciclones de alta eficiencia, diseñados para ser efectivos con MP de diámetro aerodinámico menor o igual a 10  $\mu\text{m}$  y menor o igual a 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$  y  $\text{MP}_{2.5}$ ). Aunque pueden usarse los ciclones para recolectar partículas mayores de 200  $\mu\text{m}$ , las cámaras de asentamiento por gravedad o los simples separadores por impulso (*momentum*), son normalmente satisfactorios y menos expuestos a la abrasión. (Wark, 1981; Perry, 1984).

### Límites de Emisión logrables/Reducciones:

La eficiencia de colección de los ciclones varía en función del tamaño de la partícula y del diseño del ciclón.. La eficiencia de ciclones generalmente, aumenta con (1) el tamaño de partícula y/o la densidad, (2) la velocidad en el conducto de entrada, (3) la longitud del cuerpo del ciclón, (4) el número de revoluciones del gas en el ciclón, (5) la proporción del diámetro del cuerpo del ciclón al diámetro del conducto de salida del gas, (6) la carga de polvo y, (7) el pulimento de la superficie de la pared interior del ciclón. La eficiencia del ciclón disminuirá con los aumentos en (1) la viscosidad del gas, (2) el diámetro del cuerpo, (3) el diámetro de la salida del gas, (4) el área del conducto de entrada del gas y, (5) la densidad del gas. Un factor común que contribuye a la disminución de eficiencias de control en los ciclones es el escape de aire en el conducto de salida del polvo (EPA, 1998).

Los márgenes de la eficiencia de control para los ciclones individuales, están con frecuencia basados en tres clasificaciones de ciclones, es decir, convencional, alta eficiencia y alta capacidad. El rango de eficiencia de control de los ciclones individuales convencionales se estima que es de 70 a 90 por ciento para MP; de 30 a 90 por ciento para  $\text{MP}_{10}$  y de 0 a 40 por ciento para  $\text{MP}_{2.5}$ .

Los ciclones individuales de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor control de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales. De acuerdo con Cooper (1994), los ciclones individuales de alta eficiencia pueden remover partículas de 5  $\mu\text{m}$  con eficiencias hasta del 90 por ciento, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Los rangos de eficiencia de control de los ciclones individuales de alta eficiencia son de 80 a 99 por ciento para MP; de 60 a 95 por ciento para  $\text{MP}_{10}$  y de 20 a 70 por ciento para  $\text{MP}_{2.5}$ . Los ciclones de alta eficiencia tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere

de mayores costos de energía para mover el gas sucio a través del ciclón. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada (Andriola, 1999; Perry, 1994).

De acuerdo con Vatauvuk (1990), los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de 20  $\mu\text{m}$ , aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas. Los rangos de eficiencia de control de los ciclones de alta capacidad son de 80 a 99 por ciento para MP; de 10 a 40 por ciento para MP<sub>10</sub> y de 0 a 10 por ciento para MP<sub>2.5</sub>. Se ha reportado que los multi-ciclones han alcanzado eficiencias de recolección de 80 a 95 por ciento para partículas de 5  $\mu\text{m}$  (EPA, 1998).

**Tipo de Fuente Aplicable:** Punto

#### **Aplicaciones Industriales Típicas:**

Los ciclones son diseñados para muchas aplicaciones. Generalmente, los ciclones por si solos no son adecuados para cumplir con las reglamentaciones más estrictas en materia de contaminación del aire, pero tienen un propósito importante como pre-limpiadores antes del equipo de control final más caro, tal como los precipitadores electrostáticos (PEs) o los filtros de tela. Además del uso en tareas de control de la contaminación, los ciclones se utilizan en muchas aplicaciones de proceso, como por ejemplo, para la recuperación y reciclado de productos alimenticios y materiales de proceso tales como los catalizadores. (Cooper, 1994).

Los ciclones se utilizan ampliamente después de operaciones de secado por aspersión en las industrias química y de alimentos y después de las operaciones de trituración, molienda y calcinación en las industrias química y de minerales para recolectar material útil o vendible. En la industria de metales ferrosos y no ferrosos, los ciclones se utilizan con frecuencia como primera etapa en el control de las emisiones de MP en plantas; *sinter* (plantas que crean una masa coherente por calentamiento sin fundición), *roasters* (un tipo horno para calentar material inorgánico con acceso al aire y efectuar un cambio sin fundir), *kilns* (tipo de hornos de calcinación, cuba o cochura). La MP proveniente de procesos de desintegración fluida, es removida por ciclones para facilitar el reciclado de los catalizadores. Las unidades industriales y comerciales de combustión que utilizan madera y/o combustibles fósiles, usan comúnmente ciclones múltiples (generalmente después de torres húmedas de absorción, PESs ó filtros de tela), los cuales recolectan la MP fina (< 2.5  $\mu\text{m}$ ), con mayor eficiencia que un solo ciclón. En algunos casos, las cenizas recolectadas son inyectadas de nuevo en la unidad de combustión para mejorar la eficiencia de control de MP (AWMA, 1992; Avallone, 1996; STAPPA/ALAPCO, 1996; EPA, 1998).

#### **Características de la Corriente de Emisión:**

- a. **Flujo de aire:** Las velocidades típicas del flujo de gas para unidades de un solo ciclón son de 0.5 a 12 metros cúbicos por segundo a condiciones estándares ( $\text{m}^3/\text{seg}$ ) (1,060 a 25,400 pies cúbicos por minuto a condiciones estándares (*standard cubic foot per minute (scfm)*)). Los flujos en la parte alta de este rango y mayores (hasta aproximadamente 50  $\text{m}^3/\text{seg}$  o 106,000 *scfm*), utilizan ciclones múltiples en paralelo. (Cooper, 1994). Hay unidades de un solo ciclón que se emplean en aplicaciones especializadas, las cuales tienen flujos desde 0.0005  $\text{m}^3/\text{seg}$  (1.1 *scfm*) hasta 30  $\text{m}^3/\text{seg}$  (63,500 *scfm*) aproximadamente (Wark, 1981; Andriola, 1999).
- b. **Temperatura:** Las temperaturas del gas de entrada, están limitadas únicamente por los materiales de construcción de los ciclones y han sido operados a temperaturas tan altas como 540°C (1,000°F) (Wark, 1981; Perry, 1994).
- c. **Carga de Contaminantes:** Las cargas típicas de contaminantes en el gas van de 2.3 a 230 gramos por metro cúbico a condiciones estándares ( $\text{g}/\text{m}^3$ ), (1.0 a 100 granos por pie cúbico a



condiciones estándares (gr/scf) (Wark, 1981). En aplicaciones especializadas, estas cargas pueden ser tan altas como 16,000 g/m<sup>3</sup> (7,000 gr/scf) y tan bajas como 1 g/m<sup>3</sup> (0.44 gr/scf) (Avallone, 1996; Andriola, 1999).

- d. **Otras Consideraciones:** Los ciclones trabajan más eficientemente con cargas de contaminantes más altas, siempre y cuando no se obstruyan. Generalmente, las cargas más altas de contaminantes se asocian a diseños para flujos más altos. (Andriola, 1999).

#### **Requisitos para el Pre-tratamiento de las Emisiones:**

Ningún pre-tratamiento es necesario para los ciclones.

#### **Información de Costos:**

Los siguientes son rangos de costos (expresados en dólares del 2002), para un solo ciclón convencional a condiciones típicas de operación, determinados utilizando una hoja de cálculo de la EPA para la estimación de costos (EPA, 1996), en base a la velocidad de flujo volumétrico de la corriente contaminada a tratar. Las razones de flujo mayores a aproximadamente 10sm<sup>3</sup> (21,200scfm), típicamente emplean multi-ciclones operando en paralelo. Con el fin de calcular la eficiencia de costos, en el ejemplo los flujos se suponen que están entre 0.5 y 12 sm<sup>3</sup>/seg (1,060 y 25,400 scfm), la carga de MP a la entrada se supone que es aproximadamente entre 2.3 y 230 g/m<sup>3</sup> (1.0 y 100 gr/scf), y la eficiencia de control se supone que es del 90 por ciento. Los costos no incluyen los costos de transporte y disposición del material reunido. Los costos de capital pueden ser mayores que los de los rangos mostrados para aplicaciones en las que se requieren materiales caros. Como regla, las unidades más pequeñas para el control de corrientes contaminadas con bajas concentraciones de MP, resultarán más caras (por unidad de velocidad de flujo volumétrico y por cantidad de contaminante controlada), que una unidad grande que controla corrientes contaminadas con concentraciones altas de MP.

- a. **Costo de Capital :** \$4,600 a \$7,400 por m<sup>3</sup>/seg (\$2.00 a \$2.40 por scfm).
- b. **Costo de Operación y Mantenimiento:** \$1,500 a \$18,000 por m<sup>3</sup>/seg (\$0.70 a \$8.5 por scfm), anualmente.
- c. **Costo Anualizado:** \$2,800 a \$29,000 por m<sup>3</sup>/seg (\$1.30 a \$13.50 por scfm), anualmente.
- d. **Eficiencia de Costo:** \$0.47 a \$440 por tonelada métrica (\$0.43 a \$400 por tonelada corta), costo anualizado por tonelada de contaminante controlado por año.

Para flujos mayores a 10 m<sup>3</sup>/seg (21,200 scfm), aproximadamente y hasta 50 m<sup>3</sup>/seg (106,000 scfm), usualmente se utilizan ciclones múltiples operando en paralelo. Suponiendo un mismo rango de carga de contaminantes y una eficiencia de 90 por ciento, los siguientes rangos de costo (expresados en dólares al tercer trimestre de 1995), fueron determinados para ciclones múltiples, utilizando una hoja de cálculo de la EPA para estimación de costos (EPA, 1996), en base a la proporción del flujo volumétrico a la corriente contaminada tratada.

#### **Teoría de la Operación:**

Los ciclones utilizan la inercia para remover las partículas de la corriente del gas. Los ciclones imparten una fuerza centrífuga a la corriente de gas, normalmente en una cámara de forma cónica. Los ciclones operan creando un vórtice doble dentro del cuerpo del mismo. El gas que entra es forzado a bajar por el cuerpo del ciclón con movimiento circular cerca de la superficie del tubo del ciclón. En el fondo del ciclón, la dirección del gas se invierte y sube en espirales por el centro del tubo y sale por la tapa del ciclón. (AWMA, 1992).

## **APÉNDICE R**

**CODIFICACIÓN DEL CÓDIGO DEL TRABAJO.**

**Codificación 17, Registro Oficial Suplemento 167 de 16 de Diciembre del 2005.**

## MINISTERIO DE TRABAJO Y EMPLEO

### REGIMEN LABORAL ECUATORIANO

4. La pérdida de un ojo, siempre que el otro no tenga acuidad visual mayor del cincuenta por ciento después de corrección por lentes;
5. La disminución de la visión en un setenta y cinco por ciento de lo normal en ambos ojos, después de corrección por lentes;
6. La enajenación mental incurable;
7. Las lesiones orgánicas o funcionales de los sistemas cardiovascular, digestivo, respiratorio, etc., ocasionadas por la acción mecánica de accidente o por alteraciones bioquímicas fisiológicas motivadas por el trabajo, que fueren declaradas incurables y que, por su gravedad, impidan al trabajador dedicarse en absoluto a cualquier trabajo; y,
8. La epilepsia traumática, cuando la frecuencia de la crisis y otros fenómenos no permitan al paciente desempeñar ningún trabajo, incapacitándole permanentemente.

**Art. 361.-** Disminución permanente.- Producen disminución permanente de la capacidad para el trabajo las lesiones detalladas en el cuadro valorativo de disminución de capacidad para el trabajo.

CONCORD:

\* CODIGO DEL TRABAJO: **Art. 432.**

**Art. 362.-** Incapacidad temporal.- Ocasiona incapacidad temporal toda lesión curada dentro del plazo de un año de producida y que deja al trabajador capacitado para su trabajo habitual.

Ver SERVICIO DOMESTICO, Gaceta Judicial. Año LXXVIII. Serie XIII. No. 2. Pág. 319. (Quito, 17 de Febrero de 1978).

### Capítulo III

#### De las enfermedades profesionales

**Art. 363.-** Clasificación.- Son enfermedades profesionales las siguientes:

#### 1. ENFERMEDADES INFECCIOSAS Y PARASITARIAS:

- a. CARBUNCO: curtidores, cardadores de lana, pastores y peleteros, manipuladores de crin, cerda y cuernos;
- b. MUERMO: cuidadores de ganado caballar;
- c. ANQUILOSTOMIASIS: mineros, ladrilleros, alfareros, terreros, jardineros y areneros;
- d. ACTINOMICOSIS: panaderos, molineros de trigo, cebada, avena, centeno y campesinos;
- e. LEISHMANIOSIS: leñadores de las regiones tropicales;

## MINISTERIO DE TRABAJO Y EMPLEO

### REGIMEN LABORAL ECUATORIANO

f. SIFILIS: sopladores de vidrio (accidente primitivo: chancro bucal), médicos, enfermeras, mozos de anfiteatro (en las manos);

g. ANTRACOSIS: carboneros, fogoneros del carbón mineral;

h. TETANOS: caballerizos, carniceros y cuidadores de ganado;

i. SILICOSIS: mineros (de las minas de minerales y metales), canteros, caleros, obreros de las fábricas de cemento, afiladores y albañiles, areneros, trabajadores de fábricas de porcelana;

j. TUBERCULOSIS: médicos, enfermeras, mozos de anfiteatro, carniceros, mineros, trabajadores del aseo de calles y saneamiento del municipio; de los servicios asistenciales de tuberculosis; de los departamentos de higiene y salubridad, sean del Estado, o de cualquier otra entidad de derecho público, o de derecho privado con finalidad social o pública, o particulares; de la industria textil y de las piladoras;

k. SIDEROSIS: trabajadores del hierro;

l. TABACOSIS: trabajadores en la industria del tabaco;

II. OTRAS CONIOSIS: carpinteros, obreros de la industria del algodón, lana, yute, seda, pelo y plumas, limpiadores al soplete, pintores y aseadores que usan aire a presión;

m. DERMATOSIS: cosecheros de caña, vainilleros, hiladores de lino, jardineros;

n. DERMITIS CAUSADA POR AGENTES FISICOS:

CALOR: herreros, fundidores, obreros del vidrio;

FRIO: obreros que trabajan en cámaras frías;

Radiaciones solares: trabajador al aire libre;

Radiaciones eléctricas: rayos X;

Radiaciones minerales: radio;

ñ. OTRAS DERMITIS: manipuladores de pinturas de colorantes vegetales a base de sales metálicas y de anilinas; cocineras, lavaplatos, lavanderas, mineros, blanqueadores de ropa; especieros, fotógrafos, albañiles, canteros, manipuladores de cemento, ebanistas, barnizadores, desengrasadores de trapo, bataneros, blanqueadores de tejido por medio de vapores de azufre, curtidores de pieles en blanco, hiladores y colectores de lana, fabricantes de cloro por descomposición eléctrica del cloruro de sodio, manipuladores del petróleo y de la gasolina;

o. INFLUENCIA DE OTROS AGENTES FISICOS EN LA PRODUCCION DE ENFERMEDADES:

Humedad: en los individuos que trabajan en lugares que tengan mucha agua, por ejemplo, los sembradores de arroz;

## MINISTERIO DE TRABAJO Y EMPLEO

### REGIMEN LABORAL ECUATORIANO

El aire comprimido y confinado: buzos, mineros, trabajadores en lugares mal ventilados, independientemente de aquellos lugares donde se producen gases nocivos;

p. FIEBRE TIFOIDEA, TIFUS EXANTEMATICO, VIRUELA, PESTE BUBONICA, FIEBRE AMARILLA Y DIFTERIA, para los empleados de sanidad y médicos y enfermeros de Salud Pública.

#### 2. ENFERMEDADES DE LA VISTA Y DEL OIDO:

a. OFTALMIA ELECTRICA: trabajadores en soldaduras autógena, electricistas;

b. OTRAS OFTALMIAS PRODUCIDAS: trabajadores en altas temperaturas, hojalateros, herreros, etc.;

c. ESCLERORIS DEL OIDO MEDIO: Limadores de cobre, trituradores de minerales.

#### 3. OTRAS AFECCIONES:

a. HIGROMA DE LA RODILLA: trabajadores que laboran habitualmente hincados;

b. CALAMBRES PROFESIONALES: escribientes, pianistas, violinistas y telegrafistas;

c. DEFORMACIONES PROFESIONALES: zapateros, carpinteros, albañiles;

d. AMONIACO: letreros, mineros, fabricantes de hielo y estampadores;

e. ACIDO FLUORHIDRICO: grabadores;

f. VAPORES CLOROSOS: preparación del cloruro de calcio, trabajadores en el blanqueo, preparación de ácido clorhídrico, del cloruro, de la sosa;

g. ANHIDRIDO SULFUROSO: fabricantes de ácido sulfúrico, tintoreros, papeleros de colores y estampadores;

h. OXIDO DE CARBONO: caldereros, fundidores de minerales y mineros;

i. ACIDO CARBONICO: los mismos obreros que para el óxido de carbono, y además, poceros y letreros;

j. ARSENICO: arsenismo: obreros de las plantas de arsénico, de las fundiciones de minerales, tintoreros y demás manipuladores del arsénico;

k. PLOMO: saturnismos: pintores que usan el albayalde, impresores y manipuladores del plomo y sus derivados;

l. MERCURIO: hidrargirismo: mineros de las minas de mercurio y demás manipuladores del mismo metal;

II. HIDROGENO SULFURADO: mineros, algiberos, albañaleros, los obreros que limpian los hornos y las tuberías industriales, las retortas y los gasómetros, vinateros;

m. VAPORES NITROSOS: estampadores;



## MINISTERIO DE TRABAJO Y EMPLEO

### REGIMEN LABORAL ECUATORIANO

- n. SULFURO DE CARBONO: vulcanizadores de caucho, extracción de grasas y aceites;
- ñ. ACIDO CIANHIDRICO: mineros, fundidores de minerales, fotógrafos, tintoreros en azul;
- o. ESENCIAS COLORANTES, HIDROCARBUROS: fabricantes de perfumes;
- p. CARBURO DE HIDROGENO: destilación del petróleo, preparación de barnices y todos los usos del petróleo y sus derivados: mineros de las minas de carbón, petroleros, choferes, etc.;
- q. CROMATOS Y BICROMATOS ALCALINOS: en las fábricas de tinta y en las tintorerías, en la fabricación de explosivos, pólvora, fósforos suecos, en la industria textil para la impermeabilidad de los tejidos; y,
- r. CANCER EPITELIAL: provocado por la parafina, alquitrán y sustancias análogas.

Ver ENFERMEDADES PROFESIONALES, Gaceta Judicial. Año LXIX. Serie X. No. 11. Pág. 3547. (Quito, 31 de Enero de 1966).

**Art. 364.-** Otras enfermedades profesionales.- Son también enfermedades profesionales aquellas que así lo determine la Comisión Calificadora de Riesgos, cuyo dictamen será revisado por la respectiva Comisión Central. Los informes emitidos por las comisiones centrales de calificación no serán susceptibles de recurso alguno.

#### **Capítulo IV**

#### **De las indemnizaciones**

##### **Parágrafo 1ro.**

##### **De las indemnizaciones en caso de accidente**

**Art. 365.-** Asistencia en caso de accidente.- En todo caso de accidente el empleador estará obligado a prestar, sin derecho a reembolso, asistencia médica o quirúrgica y farmacéutica al trabajador víctima del accidente hasta que, según el dictamen médico, esté en condiciones de volver al trabajo o se le declare comprendido en alguno de los casos de incapacidad permanente y no requiera ya de asistencia médica.

**Art. 366.-** Aparatos de prótesis y ortopedia.- El empleador estará obligado a la provisión y renovación normal de los aparatos de prótesis y ortopedia, cuyo uso se estime necesario en razón de la lesión sufrida por la víctima.

**Art. 367.-** Cálculo de indemnizaciones para el trabajador no afiliado al IESS.- Todas las normas que para el cálculo de indemnizaciones contienen los

## MINISTERIO DE TRABAJO Y EMPLEO

### REGIMEN LABORAL ECUATORIANO

---

artículos 369, 370, 371, 372 y 373 de este Código, sustitúyense, en lo que fueren aplicables con las leyes, reglamentos y más disposiciones legales, que para el efecto estuvieren vigentes en el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, al momento de producirse el accidente, siempre y cuando el trabajador accidentado no estuviere afiliado y por lo tanto no gozase de las prestaciones de dicho Instituto.

**Art. 368.- Presunción del lugar de trabajo.-** Para efectos de la percepción de las indemnizaciones por accidente de trabajo o muerte de un trabajador no afiliado al IESS, se considerará como ocurridos estos hechos en sus lugares de trabajo, desde el momento en que el trabajador sale de su domicilio con dirección a su lugar de trabajo y viceversa, esto último según reglamentación. Se calcularán dichas indemnizaciones de la misma manera como si se tratase de un trabajador afiliado al IESS.

**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.

Si la muerte debida al accidente sobreviene después de los ciento ochenta días contados desde la fecha del accidente, el empleador abonará a los derechohabientes del trabajador las dos terceras partes de la suma indicada en el inciso anterior.

Si por consecuencia del accidente el trabajador falleciere después de los trescientos sesenta y cinco días, pero antes de dos años de acaecido el accidente, el empleador deberá pagar la mitad de la suma indicada en el inciso primero.

En los casos contemplados en los dos incisos anteriores el empleador podrá eximirse del pago de la indemnización, probando que el accidente no fue la causa de la defunción, sino otra u otras supervinientes extrañas al accidente.

Si la víctima falleciere después de dos años del accidente no habrá derecho a reclamar la indemnización por muerte, sino la que provenga por incapacidad, en el caso de haber reclamación pendiente.

Ver MUERTE POR ACCIDENTE DE TRABAJO, Gaceta Judicial. Año LIX. Serie 8. No. 11. Pág. 1044. (Quito, 9 de Junio de 1956).

**Art. 370.- Indemnización por incapacidad permanente.-** Si el accidente hubiere ocasionado incapacidad absoluta y permanente para todo trabajo, la

## MINISTERIO DE TRABAJO Y EMPLEO

### REGIMEN LABORAL ECUATORIANO

indemnización consistirá en una cantidad igual al sueldo o salario total de cuatro años, o en una renta vitalicia equivalente a un sesenta y seis por ciento de la última renta o remuneración mensual percibida por la víctima.

**Art. 371.- Indemnización por disminución permanente.-** Si el accidente ocasionare disminución permanente de la capacidad para el trabajo, el empleador estará obligado a indemnizar a la víctima de acuerdo con la proporción establecida en el cuadro valorativo de disminución de capacidad para el trabajo.

Los porcentajes fijados en el antedicho cuadro se computarán sobre el importe del sueldo o salario de cuatro años. Se tomará el tanto por ciento que corresponda entre el máximo y el mínimo fijados en el cuadro, teniendo en cuenta la edad del trabajador, la importancia de la incapacidad y si ésta es absoluta para el ejercicio de la profesión habitual, aunque quede habilitado para dedicarse a otro trabajo, o si simplemente han disminuido sus aptitudes para el desempeño de aquella.

Se tendrá igualmente en cuenta si el empleador se ha preocupado por la reeducación profesional del trabajador y si le ha proporcionado miembros artificiales ortopédicos.

Si el trabajador accidentado tuviere a su cargo y cuidado tres o más hijos menores o tres o más hijas solteras, se pagará el máximo porcentaje previsto en el cuadro valorativo.

CONCORD:

\* CODIGO DEL TRABAJO: **Art. 432.**

**Art. 372.- Modificación de los porcentajes.-** Los porcentajes fijados en el cuadro valorativo de disminución de capacidad para el trabajo sufrirán las modificaciones establecidas en los artículos 374, 385 y 398 de este Código.

CONCORD:

\* CODIGO DEL TRABAJO: **Art. 432.**

**Art. 373.- Indemnización por incapacidad temporal.-** La indemnización por incapacidad temporal será del setenta y cinco por ciento de la remuneración que tuvo el trabajador al momento del accidente y no excederá del plazo de un año, debiendo ser entregada por semanas o mensualidades vencidas, según se trate de obrero o de empleado.

Si a los seis meses de iniciada una incapacidad no estuviere el trabajador en aptitud de volver a sus labores, él o su empleador podrán pedir que, en vista



## BIBLIOGRAFÍA

1. Diplomado de Seguridad, Higiene y Salud Ocupacional, Módulo Higiene Industrial, UNEMI 2009-2010.
2. Carlos Tejedor, Nederman Ibérica S.A., Jornada Técnica de Trabajos de Soldadura: Riesgos y Responsabilidades, Prácticas Seguras, Oviedo España, Mayo 2009, [www.nederman.com](http://www.nederman.com)
3. Ventilation Guide for Weld Fume. AWS F3.2M/F 3.2:2001 An American National Standard. American Welding Society 550 N.W. le Jeune road, Miami, Florida 33126.
4. Tabla de Límites ambientales de exposición profesionales (TLVs) para agentes químicos en España, ACGIH, 2007.
5. [http://www.uv.es/gabaldoc/apuntes/Control\\_particulas.pdf](http://www.uv.es/gabaldoc/apuntes/Control_particulas.pdf), Universidad de Valencia, España, 2008
6. <http://www.airgas.com/documents/pdf/004020.pdf>.
7. A Sampling Guide for Evaluating Contaminants in the Welding Environment 2001 AWS F1.3:2006, An American National

Standard, American Welding Society 550 N.W. leJeune road,  
Miami, Florida 33126

8. Ministerio del Ambiente - República del Ecuador. Texto Unificado  
Libro VI: De la Calidad Ambiental Anexo 4: NORMA DE CALIDAD  
DE AIRE AMBIENTE.
9. Ministerio del Ambiente - República del Ecuador. Texto Unificado  
Libro VI: De la Calidad Ambiental Anexo 3: NORMA DE  
EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE  
COMBUSTIÓN.
10. E. Avallone T. Baumister III, Manual del Ingeniero Mecánico  
MARKS, novena edición, 1996 Ed. McGraw Hill.
11. The 2000 ASHRAE Handbook Systems and Equipment  
<http://www.ashrae.org>. Handbook Editor, ASHRAE, 1791 Tullie  
Circle, Atlanta, GA 30329 Robert A. Parsons.
12. Suárez S. Sandra “Diseño de un Sistema Móvil de Extracción de  
Polvo generado durante el Proceso de Arenado” (Tesis Facultad de  
Ingeniería Mecánica, ESPOL, año 2008).

13. The 1999/1997 ASHRAE Handbook HVAC Applications/ Fundamentals <http://www.ashrae.org>. Handbook Editor, ASHRAE, 1791 Tullie Circle, Atlanta, GA 30329 Robert A. Parsons.
14. Andrade Francisco Ing., Ventilación Industrial, Diplomado en Manejo Ambiental, ESPOL, Julio 2001.
15. Perry Robert-Green Don, PERRY, Manual del Ingeniero Químico, Séptima Edición, Volumen II, 1997 Mc Graw Hill.
16. ESPOL, Curso de Control de Emisiones de Partículas, 1993.
17. Guía de referencia y soluciones de problemas, BHA, BHA Group, 1998.
18. ASME Code for Pressure Piping and American National Standard B31.3-2002 Process piping.
19. Manual de Costos de Control de Contaminacion del Aire de la EPA Sexta Edición EPA 452/B-02-002 June 2002, OAQPS, Oficina de Normas y Planeación de la Calidad del Aire , USEPA Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. Research Triangle Park, NC 27711

20. Eugene F. Megyesy Manual de recipientes a Presión / Limusa  
Grupo Noriega Editores, Primera Reimpresión 19992, México D.F.
21. <http://www.chiblosa.com.ar/spanish/productos/productos.htm>
22. [http://es.wikipedia.org/wiki/Acero\\_A36](http://es.wikipedia.org/wiki/Acero_A36)