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 Rios 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. Julian 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).

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 µm 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_{ramal2} = 50544 m^3/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_{ramal1} = 5760 m^3/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.

ABREVIATURAS

ACGIH	*bar*
TLV	*mm*
Kg	*KV*
g	*cm*
h	g/m^3
μm	*Ar*
%	*He*
Cr VI	Conference of Govermental Industrial Hygienists
MSDS	Thresold limite value (Valor límite umbral)
AWS	Kilogramo
PM_{10}	Gramo
$PM_{2.5}$	hora
NO	Micra
NO_2	Por ciento, Porcentaje
SO_2	Cromo Hexavalente
mg/cm^2	Material Safety Data Sheets
$\mu g/m^3$	American Welding Society
CO	Material Particulado menor a 10 μm
^oC	Material Particulado menor a 2.5 μm
mm Hg	Monóxido de Nitrógeno
^oK	Dióxido de Nitrógeno
mbar	Dióxido de azufre
etc.	Miligramo por centímetro cuadrado
d_p	Microgramo por metro cúbico
g/cm^3	Monóxido de Carbono
EPA	Grado Centígrado
m/s	Milímetro de mercurio

Grado Kelvin	*Kg/mes*
Milibar	*Kg/100Kg*
Etcétera	*m.s.n.m*
Diámetro de	*KPa*
partícula	*m/s.*
Gramo por	k/m^3
Centímetro	$\mu Ns/m^2$
cúbico	m^2/s
Environment	m/s^s
al Protection	*s*
Agency	*bar*
Metro por	*J/(Kg.°K)*
Segundo	$m^2 °K/W$
bar	W/m^2
Milímetro	*m/seg*
Kilovoltio	*SI*
Centímetro	*TN*
Gramo por	*Kwh*
metro cúbico	*H*
Argón	*$*
Helio	*CE, CEV*
	AWS
NO_X	Óxidos Nitrosos
H	Hidrógeno
CO_2	Dióxido de Carbono
O_3	Ozono
HF	Fluoruro de Hidrógeno
mg/m^3	miligramo por metro cúbico
Cd	Cadmio
Zn	Zinc
Ni	Níquel
Pb	Plomo
Co	Cobalto
Mn	Manganeso
SMAW	Shielded Metal Arc Welding
GMAW	Gas Metal Arc Welding
FCAW	Flux Cored Arc Welding
g/min	Gramo por minuto
Kg/año	Kilogramo por año
ANSI	American National Standards Institute
Kpsi	Kilo Pounds Square inch (Kilo Libras por pulgada cuadrada)
GPM	Galones por minuto
A	Amperaje
V	Voltaje

Kilogramo	MicroNewton segundo por metro cuadrado
por mes	Metro cuadrado por segundo
Kilogramo	Metro por segundo al cuadrado
por cada 100	Segundo
Kg de	Bar.
Electrodo	Joule por Kilogramo Grado Kelvin
Metros sobre	Metro cuadrado Grado Kelvin por Watio
el nivel del	Watio por metro cuadrado
mar	Metro por segundo
Kilopascal	Sistema Internacional de Unidades
Metro por	Tonelada
segundo	Kilowatio hora
Kilogramo	Hora
por metro	Dólar
cúbico	Costo Total de Explotación, Costo Anual
	American Welding Society

SIMBOLOGÍA

t_o^{act}	T_s
t_o^{sed}	T_∞
R_{CL}	Q_o
M	K_5
$V_{cap\ H}$	V_{cap}
ρ_{HM}	A_o
d_p	G
K_2	$C_{exp(min)}$
K_3	V_x
$V_{cap\ V}$	x
K_4	α
Q_o^*	d_{camp}
d	δ
D_2	L
D_1	B
q_{conv}	h
$q_{conv\ hor}$	Temperatura operativa para actividad, °C
$q_{conv\ vert}$	Temperatura operativa para condiciones sedentarias, °C.
K_1	Aislamiento de la ropa, m^2 °K/W.
K_v	Tasa Metabólica W/m^2
V_r	Velocidad de captación en ductos horizontales, m/s.
h_{camp}	densidad de las particulas sólidas (polvos metálicos), Kg/m^3.
h_{HM}	diámetro de particula, μm, m.

Constante de la fuente superficie vertical, W.
adimensionalCoeficiente adimensional usando la *Figura 3.4*.
igual a 132.4Coeficiente de acuerdo al movimiento del aire en el local V_r.
en el SI Velocidad dentro del local, m/s.
Constante Altura de la campana, m.
adimensionalCoeficiente de transferencia de calor de convección de Gases.
igual a 998Temperatura de Fusión del Acero, 1530°C.
en el SI Temperatura Ambiente, 26°C.
Velocidad deTasa de Flujo volumétrico dependiendo del contaminante, m^3/s.
captación enCoeficiente dependiente del diseño de la Campana.
ductos Velocidad de Captura, m/s.
verticales, Área de abertura de la Campana, m^2.
m/s. Cantidad de Contaminate emitida por la fuente, mg/s
Constante Límite inferior de explosividad de los contaminanates, mg/m^3
adimensionalVelocidad del aire a la distancia x, m/s.
igual a 566Distancia desde la Campana, m.
en el SI Ángulo de Inclinación de la Campana, °.
Tasa deDiámetro de la campana, mm.
Flujo Factor de corrección de diseño de Campana según Figura 3.5
volumétrico Longitud proyectada según inclinación de Campana,mm Fig 3.5
para laRadio de la Campana, mm según Figura 3.5
extracción, Longitud proyectada según inclinación de Campana,mm Fig 3.5
m^3/s. Q_{ramal}
Diámetro de$v$
la Fuente, m.A_t
Diámetro d_{ducto}
exterior de la VP
Campana, m he_c
Diámetro he_L
interior de laL_{ramal1}
Campana, he_{90}
m. he_{45}
Calor deh_T
Convección h_Y
de la fuente,he_{ch}
W. L_{ramal2}
Calor deSP
Convección P
de la fuenteD_o
superficie C
horizontal, S
W. E
Calor de$Y$
Convección t_m

η	Perdidas en la Longitud del ramal de la Campana, mm c.d.H_2O
N_e	Longitud del ramal 1, mm.
V_g	Perdidas en codos de 90°, mm c.d.H_2O
μ_g	Perdidas en codos de 45°, mm c.d.H_2O
H_2	Perdida total en el Ramal, mm c.d.H_2O
H_1	Perdidas en conexiones Y, mm c.d.H_2O
H	Perdidas en salidas de la chimenea, mm c.d.H_2O
W_i	Longitud del ramal 2, mm.
D_e	Presion estatica o Cabezal estatico, mm c.d.H_2O
D_d	Presión de diseño, KPa, mm c.d.H_2O
D_o	Diámetro externo de la tubería, m.
ΔP	Suma de tolerancias debidas a corrosión, erosión, etc.
H_v	Esfuerzo permissible, MPa
K	Factor de calidad, Coeficiente para tubo Venturi.
$P_{e(\Delta W)}$	Coeficientes materiales ferrosos dúctiles, no dúctiles y frágiles.
$V_{filtración}$	Espesor mínimo requerido, mm.
P_j	Eficacia,%
K_r	Número de vueltas efectivas
W_o	Velocidad del gas, m/s.
$V_{filtración}$	Viscosidad del gas. Ns/m^2
C_i	Factor Geometrico de la *Figura 3.8*
t	Factor Geometrico de la *Figura 3.8*
Caudal del	Factor Geometrico de la *Figura 3.8*
Ramal a ser	Factor Geometrico de la *Figura 3.8*
analizado,	Factor Geometrico de la *Figura 3.8*
m^3/s, m^3/h.	Factor Geometrico de la *Figura 3.8*
Velocidad de	Factor Geometrico de la *Figura 3.8*
sustentación	Caída o Pérdida de Presion, Pa, mm c.d.H_2O
del sistema,	Numero de cargas de velocidad que depende del ciclon
23 m/s.	Constante empirica del Fabricante del ciclon, K=16
Área de	Perdida de presión cuando las mangas están limpias, KPa
circulación	Velocidad de filtración, m/s
de los	Presión con que se inyectan los pulsos de aire comprimido, KPa
contaminant	Resistencia al flujo por acumulación de polvo, K_r=150000
es, m^2.	Masa de polvo como una función del tiempo.
Diámetro del	Velocidad de filtración, m/s
ducto, mm	Cantidad de polvo que circula por unidad de volume de gas.
Presión	Tiempo entre pulsos de aire comprimido para limpiar manga, s
dinámica,	η_{rp}
mm c.d.H_2O	A_{re}
Perdidas a la	Q_{gas}
entrada de la	ω
Campana,	K_z
mm c.d.H_2O	SCA

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

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

ÍNDICE DE PLANOS

(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 Govermental 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 3μm 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 contínua.

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 hábitat 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 producirίa aproximadamente entre:

$$20\,{}^{g}\!/_{h} \times \frac{8h}{1\ dia} \times \frac{20\ dias}{1\ mes} \times \frac{12\ mes}{1\ año} = 38.4\ {}^{Kg}\!/_{año}\ ;\ \textbf{y}$$

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

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 µm 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
Cromo (Cr)	Procesos de soldadura. Acero inoxidable. Galvanizados. Fabricación pigmento de Galvanizados. Fabricación pigmento de cromo,	Irritación de la piel. Irritación del tracto respiratorio, efectos dobre la nariz, ojos y oidos. Efectos crónicos, incluido cáncer de pulmón, de riñón o daños en el hígado
Manganeso (Mn)	Procesos de soldadura, acero alta resistencia	Pneumonitis química; efectos crónicps incluidos trastornos del sistema nervioso.
Níquel (Ni)	Proceso de soldadura: Acero oinoxidable, cromados, galvanizados	Dernatitis, asma, trastornos respiratorios, efectos crónicos incluyendo cáncer(nariz, laringe, pulmón), irritación del tracto respiratorio, disfunción renal.
Oxido de hierro	Procesos de soldadura, tanto en hierro como acero	Efectos sobre la nariz e irritazión pulmonar, siderosis (acumulación pilmonar de óxido de hierro)
Fluoruros	Protección para electrodos, material flux (arco sumergido)	Irritación de ojos, nariz y gargantaEye, problemas gastrointestinales, efectos crónicos, incluyendo problemas de huesos y articulaciones.
Ozono	Formado en el arco de soldadura	Efectos agudos, incluyendo hemorragias y derrames en pulmón.
Oxido de nitrógeno	Formado en el arco de soldadura	Pneumonitis, edema pulmonar, bronquitis crónica, enfisema y fibrosis pulmonar
Monóxido de Carbono	Dióxido de carbono generado durante la soldadura al arco., Protección de electrodos	Dolor de cabeza, nauseas, efecto Dióxido de carbono generado durante la crónicos cardiovasculares e incluso muerte

El polvo metálico inhalado visible de tamaño mayor a 10 µm. es retenido en la nariz y la garganta, el de tamaño entre 1 y 10 alcanza los bronquios y las partículas menores a 1 µm. (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]**

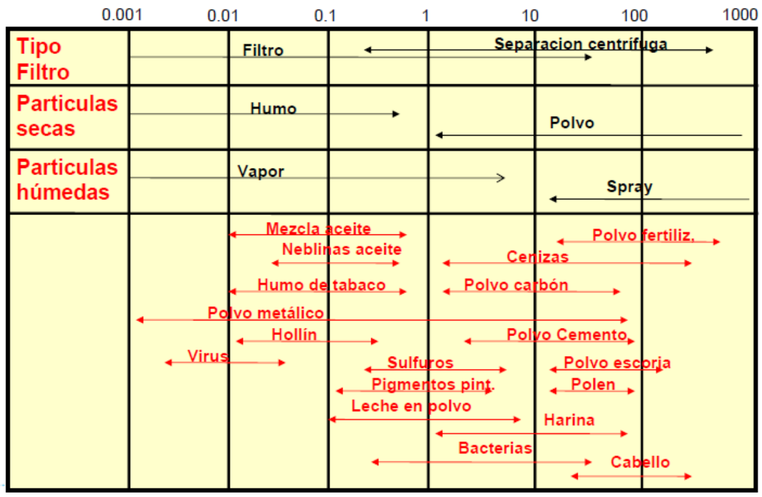


FIGURA 1.3. TAMAÑO DE PARTÍCULAS EN EL AIRE EN MICRAS. [2]

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, Manganeso 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 PARA AGENTES QUÍMICOS EN ESPAÑA 2007								
			LÍMITES ADOPTADOS					
			VLA-ED		VLA-EC			
EINECS	CAS	AGENTE QUÍMICO	ppm	mg/m^3	ppm	mg/m^3	NOTAS	FRASES R
231-846-0	7758-97-6	Cromato de plomo,					TR1	61-33-40-50/53-62
		como Cr		0.012				
		como Pb		0.05			VLB	
		Cromo metal, compuestos inorgánicos Cr (II) y Cr III), como Cr		0.5			véase Apartado 8	
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 µm. (PM_{10} y $PM_{2.5}$) 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 mg/cm^2 x 30 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 $\mu g/m^3$). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico (150 $\mu g/m^3$), 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 µg/m^3). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder sesenta y cinco microgramos por metro cúbico (65 µg/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 µg/m^3). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos por metro cúbico (350 µg/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 µg/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 µg/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 µg/m3), más de una vez en un año. La máxima concentración de oxidantes fotoquímicos, obtenida mediante muestra continua en un período de ocho horas, no deberá exceder de ciento veinte microgramos por metro cúbico (120 µg/m^3), más de una vez en un año.*

Óxidos de nitrógeno, expresados como NO_2.- *El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como NO_2, y determinada en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 µg/m^3). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico (150 µg/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 °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:

$$Cc = Co \times \frac{760\, mmHg}{Pbl mmHg} \times \frac{(273 + t\,°C)°K}{298\,°K}$$

Donde:

Cc: concentración corregida

Co: concentración observada

Pbl: 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 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 NO2 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 PM10 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 [1]
Partículas Totales	Sólido	355	mg/Nm^3
	Líquido [2]	355	mg/Nm^3
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	1 100	mg/Nm^3
	Líquido [2]	700	mg/Nm^3
	Gaseoso	500	mg/Nm^3
Dióxido de Azufre	Sólido	1 650	mg/Nm^3
	Líquido [2]	1 650	mg/Nm^3
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable

Notas:
[1] mg/Nm3: 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 [1]
Partículas Totales	Sólido	150	mg/Nm^3
	Líquido [2]	150	mg/Nm^3
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable
Óxidos de Nitrógeno	Sólido	850	mg/Nm^3
	Líquido [2]	550	mg/Nm^3
	Gaseoso	400	mg/Nm^3
Dióxido de Azufre	Sólido	1 650	mg/Nm^3
	Líquido [2]	1 650	mg/Nm^3
	Gaseoso	No Aplicable	No Aplicable

[1] mg/Nm3: 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 [1]
Partículas Totales	Cubilotes:			
	de 1 a 5 t/h	600	250	mg/Nm^3
	mayor a 5 t/h	300	150	mg/Nm^3
	Arco eléctrico:			
	menor 5 t	350	250	mg/Nm^3
	mayor 5 t	150	120	mg/Nm^3

Notas:
[1] mg/m3: 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 multiples.
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.*

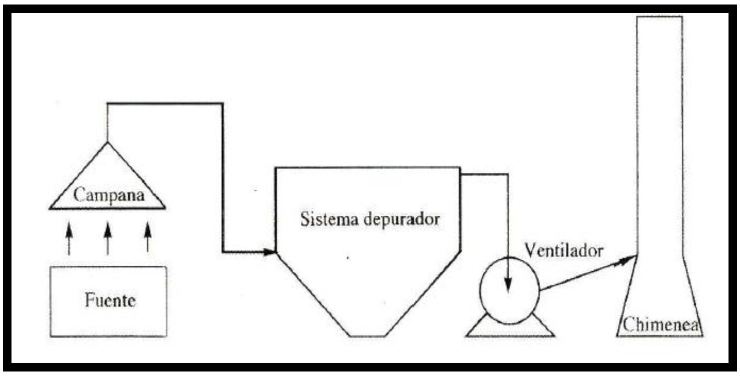


FIGURA 2.1. DISPOSICIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN, DEPURACIÓN Y EVACUACIÓN [5]

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 $\boldsymbol{d_p}$. 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 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 µm, con la mayor parte de ellas, aproximadamente el 75% en masa, comprendidas en el intervalo de 0.1 a 10 µm. Las partículas de tamaño inferior a 0.1 µm condensan debido a colisiones ya que tienen un comportamiento similar a las moléculas gaseosas. Las partículas entre 1 y 20 µm tienden a ser arrastradas por el aire, mientras que las de tamaño superior a 20 µm sedimentan rápidamente. En cuanto al origen de las partículas, éstas con un tamaño inferior a 1 µm 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 µm, 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 Limitaciones legales Costo inicial Tiempo de vida y valor residual Costos de operación y mantenimiento Requisitos de potencia Peso y requisitos de espacio Material de construcción Fiabilidad Garantias del equipo y del fabricante
GAS PORTADOR	Temperatura Presión Humedad Densidad Viscosidad Punto de rocío de materias condensables Corrosividad Inflamabilidad Toxicidad
PROCESO	Caudal y velocidad del gas Concentración de contaminantes Variabilidad de caudales, temperatura, etc.
CONTAMINANTE (GASEOSO)	Corrosividad Inflamabilidad Toxicidad Reactividad
CONTAMINANTE (PARTICULADO)	Distribución de tamaños de partícula Forma de las partículas Tendencia a la aglomeración Corrosividad Abrasividad Pegajosidad Inflamabilidad Toxicidad Resistividad eléctrica 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]**

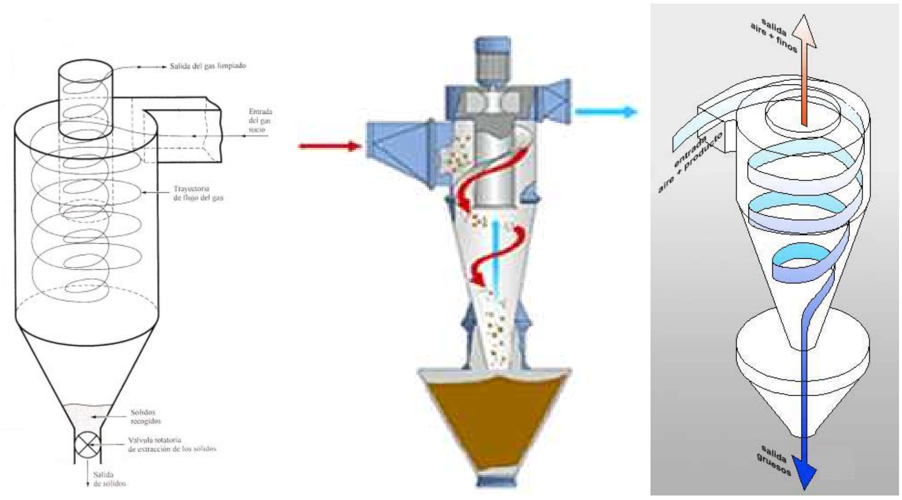


FIGURA 2.2. RECOLECCIÓN DE PARTÍCULAS DEL CICLÓN [5]

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 µm de diámetro aerodinámico. No obstante, se diseñan cyclones de alta eficacia con aplicaciones para la eliminación de PM_{10} y $PM_{2.5}$. Con el sistema de multiciclón se pueden separar partículas entre 2 y 5 µm. Si la corriente a tratar contiene partículas de tamaño superior a 200 µm. 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_{10}	30-90	60-95	10-40
$PM_{2.5}$	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 5µm. 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 20µm., 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 µm. 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*).

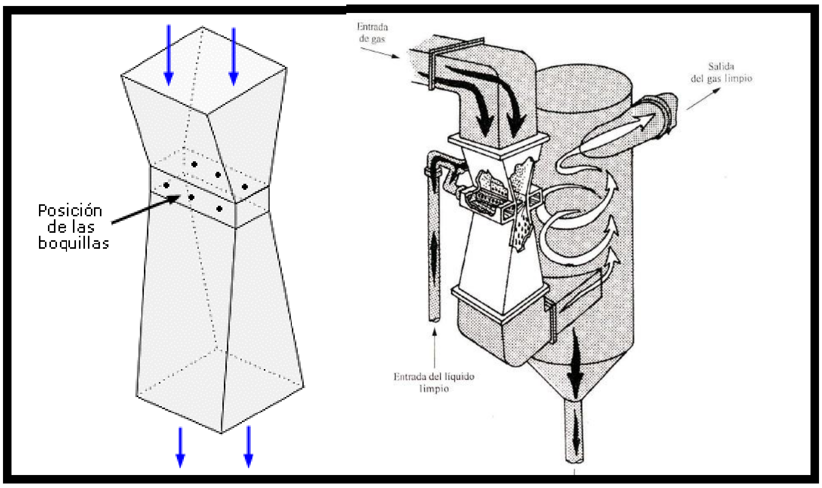


FIGURA 2.4. LAVADOR VENTURI [5]

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 ºC). 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.

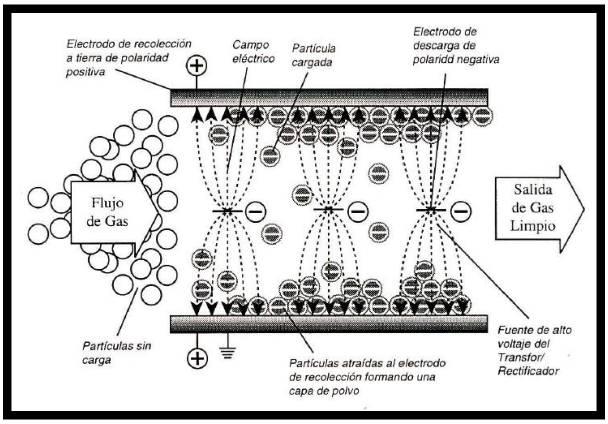


FIGURA 2.5. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO [5]

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 ions positivos son rápidamente captados por el alambre, y los iones negativos se desplazan hacia el electrodo de precipitación (tubos o placas).

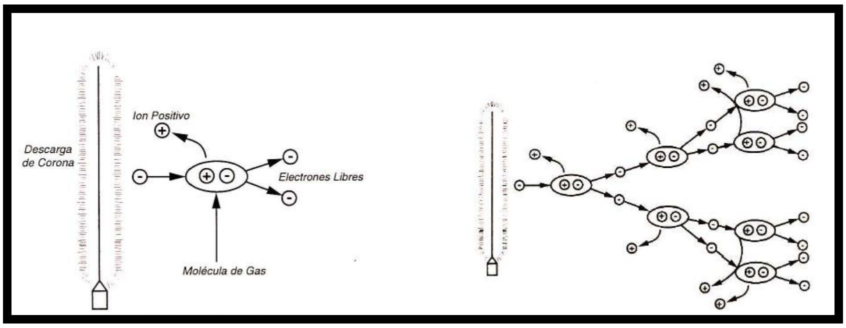


FIGURA 2.6. (a) GENERACIÓN DE CORONA (b) MULTIPLICACIÓN DE AVALANCHA [5]

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*).

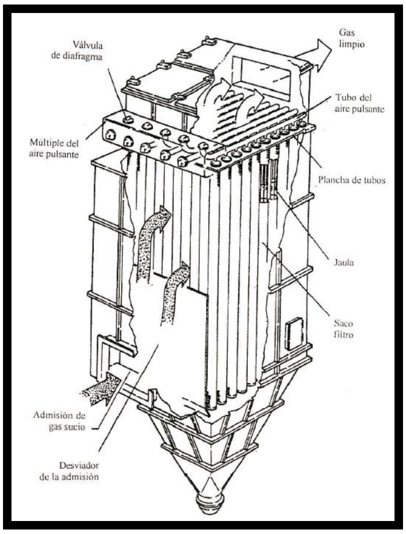


FIGURA 2.7. FILTRO DE MANGAS [5]

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 µm., pudiendo superar el 99.99%. Para partículas de 0.5 µm. alcanzan eficacias del 99% y se obtienen eficacias aceptables para partículas de hasta 0.01 µm.

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.

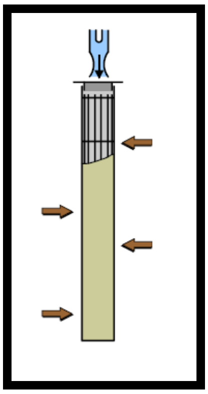


FIGURA 2.8. FILTRO DE IMPULSO DE AIRE COMPRIMIDO [12]

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_2O (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 mm c.d.*H_2O)
- Ventiladores de mediana presión (*300 – 900 mm c.d.*H_2O)
- Ventiladores de alta presión (*900 – 1500 mm c.d.*H_2O)

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*).

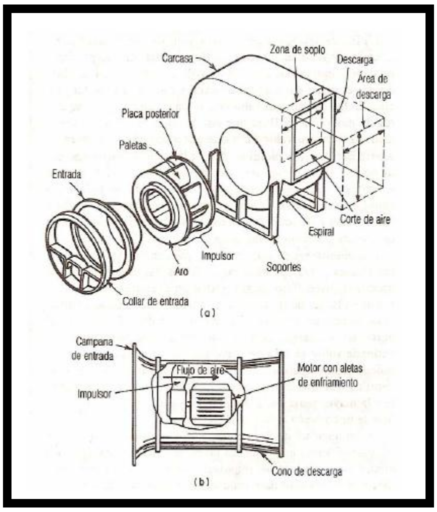


FIGURA 2.10. (a) VENTILADOR CENTRÍFUGO (b) VENTILADOR AXIAL

Los ventiladores axiales se caracterizan por generar grandes cantidades de flujo a baja presión. Estos ventiladores trabajan con requerimientos de carga de hasta *300 mm. c.d.*H_2O. 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]**

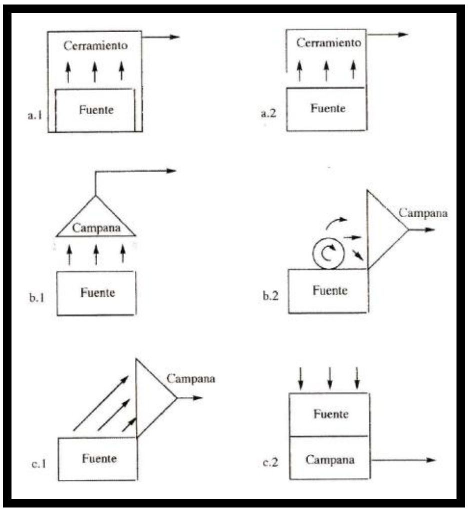


FIGURA 2.11. TIPOS DE CAMPANAS DE ASPIRACIÓN (a) CERRAMIENTOS (b) CAMPANAS RECEPTORAS (c) CAMPANAS CAPTORAS [5]

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.

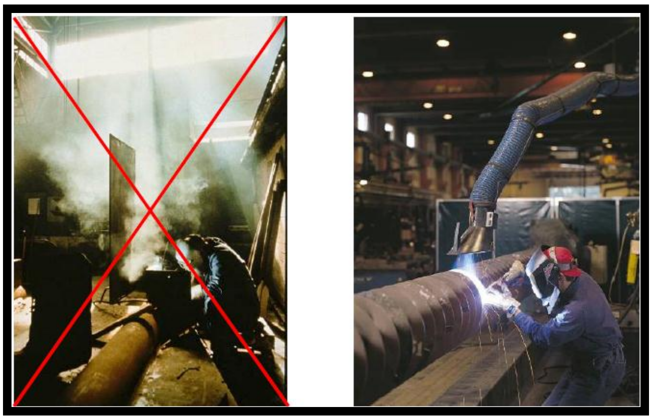


FIGURA 2.12. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA [2]

Los brazos posicionales de extracción localizada son la mejor opción poque 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*.

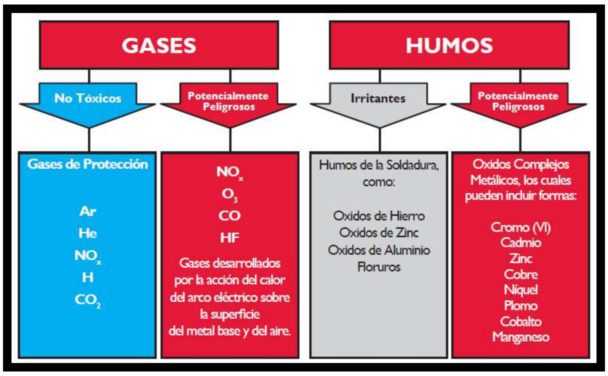


FIGURA 3.1. HUMOS Y GASES A CONTROLAR

TABLA 4

LÍMITES PERMISIBLES DE HUMOS Y GASES DE SOLDADURA

COMPUESTOS		TWA (8h)	OLOR UMBRAL	TÍPICAS CONCENTRACIONES EXPULSADAS	LEGISLACIÓN AMBIENTAL ECUADOR
GASES		mg/m^3	mg/m^3	mg/m^3	mg/m^3
	CO	55	0	3	
	HF	2	2.7		
	NO2	9	0	0.2 - 1	400 - 500
	NO	30	51	0.01	400 - 500
	O3	2	0.2	0.04	
HUMOS			HUMOS DE SOLDADURA (mg/m^3)		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		$\mu g/m^3$	POLVO RESPIRABLE (mg/m^3)		$\mu g/m^3$ (24h)
	$PM_{2.5}$	40	5		65
	PM_{10}	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:

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

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 APORTE	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 75%	1.2 mm	200	27	0.45	0.55	3.89	46.66	0.87
FCAW(E70-T5)	Ar 25% CO2 75%	2.4 mm	300	28	0.75	1.9	6.48	77.76	1.2
FCAW(E71T-1)	Ar 25% CO2 75%	1.3 mm	220	24	0.45	0.55	3.89	46.66	1.2
ALAMBRE SÓLIDO (ER70S-6)	Ar 20% CO2 80%	1.2 mm	270	28	0.45	0.5	3.89	46.66	0.79
TOTAL					**3.7**	**7.5**	**31.97**	**383.62**	**12.06**

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^3. **[13].**

Viscosidad Absoluta: 18μNs/m^2. **[13].**

Viscosidad cinematica: 16 x 10^{-4} m^2/s. **[13].**

Gravedad: 9.8 m/s^2 **[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]**

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

Si se tiene que para las estaciones de Invierno (R_{CL} = 0.14 – 0.155 m^2 °K/W) a 20 – 24 °C y en Verano (R_{CL} = 0.08 m^2 °K/W) a 23 – 26 °C el valor de la tasa metabolica M entre 70 – 175 W/m^2, se asume 150 W/m^2 y R_{CL}= 145 m^2 °K/W, en condiciones de trabajo la temperatura promedio de 36 °C, por lo que resolviendo la ecuación se tiene:

$$t_o^{act} = 36 - 0.33(0.155 + 145)[(150 + 273) - (70 + 273)]$$
$$t_o^{act} = 36°C - 7.92°C$$
$$\underline{\underline{t_o^{act} = 28°C}}$$

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 125ºC (la temperatura promedio es de **36.5 ºC**). 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/m^3**, concentraciones PM_{10} = 46 µg/m^3 y $PM_{2.5}$ = 56 µg/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.

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

Si se tiene que: ρ_{HM} = 530 Kg/m^3; d_p = 0.3μm; 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.

$$V_{cap\ H} = 132.4\left(\frac{530}{530 + 998}\right)(0.3 \times 10^{-6})^{0.4}$$
$$\underline{\underline{V_{cap\ H} = 0.11 m/s}}$$

Así, mismo:

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

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

$$V_{cap\ V} = 566\left(\frac{530}{530 + 998}\right)(0.3 \times 10^{-6})^{0.6}$$
$$\underline{\underline{V_{cap\ V} = 0.023 m/s}}$$

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 μm**

(0.3x10^{-6}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*):

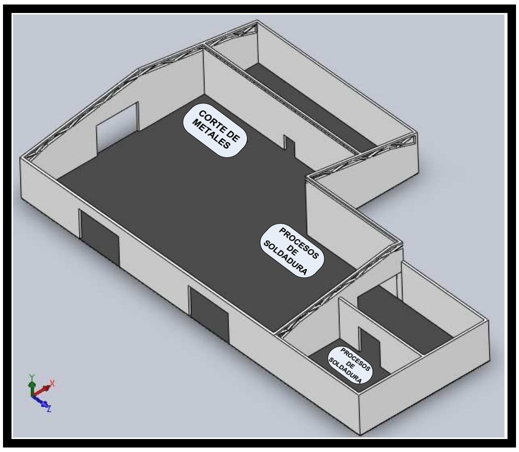


FIGURA 3.3. SECTORES PARA EXTRACCIÓN LOCALIZADA

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.

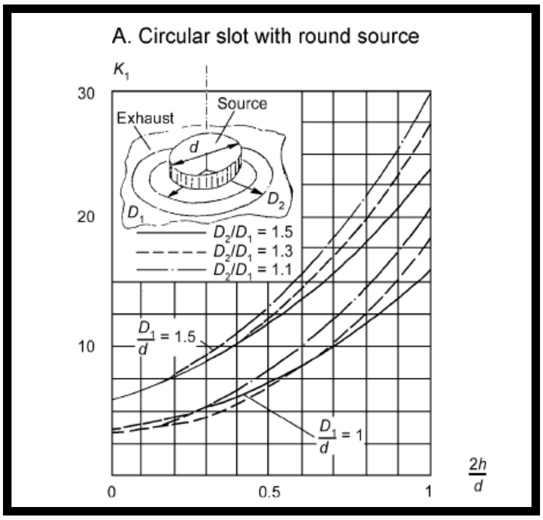


FIGURA 3.4. RANURA CIRCULAR CON FUENTE REDONDA [13]

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

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

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

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 °C (Temperatura de Fusión del Acero cuando se lo corta) y T_∞ = 28 °C (Temperatura ambiente), con un h_{HM} = 25 W/m^2.°K recomendado para gases, se tendría los siguientes resultados, resolviendo las ecuaciones 3.4, 3.5 y 3.6.

$$q_{conv} = 25 \, W/_{m^2.°K} \left(1803°K - 301°K\right) \times 24m^2$$
$$\underline{\underline{q_{conv} = 901200W}}$$

$$K_v = 1 + 44.7\sqrt{0.4^3 \, \frac{0.4}{901200W}}$$
$$\underline{\underline{K_v = 1.008}}$$

$$Q_o^* = 0.0314\left(901200W \times 0.4^5\right)^{1/3}\left(1 - 0.06\frac{901200W}{901200W}\right) \times 20 \times 1.008$$
$$Q_o^* = \underline{\underline{12.44\, m^3/_s}} \times 3600s/_{1h} = \underline{\underline{44784\, m^3/_h}}$$

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.

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

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

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

$$\frac{V_x}{V_{cap}} = \left(1 + 10x^2 \Big/ A_0\right)^{-1}$$
$$x \leq 1.7\sqrt{A_o} \qquad \textbf{(3.10) [13]}$$
$$\alpha \leq 30°$$

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 díametro 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:

$$G = 3.7\,{}^{g}\!\Big/_{\min} \times {}^{1Kg}\!\Big/_{1000g} = \underline{\underline{0.0037\,{}^{Kg}\!\Big/_{\min}}} \times {}^{42\min}\!\Big/_{1h} = \underline{\underline{0.1554\,{}^{kg}\!\Big/_{h}}}$$

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

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

Luego se resuelve la ecuación 3.9.

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

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

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

Como el caudal debe ser mayor a 0.0051 m^3/s, se escoge un caudal de 0.20 m^3/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.

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

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

$$x \leq 1.7\sqrt{0.0314}$$
$$\underline{\underline{x \leq 0.30 m}}$$

$$\alpha \leq 30°$$
$$\frac{V_x}{0.75} = \left(1 + 10(0.30)^2 \big/ 0.0314\right)^{-1}$$
$$\underline{\underline{V_x = 0.0252\, m/s}}$$

De acuerdo a la *Figura 3.5* se hace la primera aproximación para δ≈25mm, si 2B=200 entonces se resuelve las ecuaciones 3.11 y 3.12.

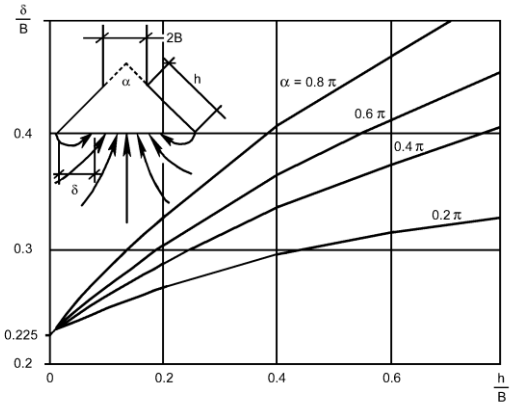
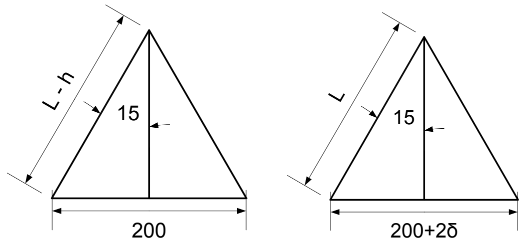


FIGURA 3.5. INFLUENCIA DE CONFIGURACIÓN EN LA ENTRADA DE LA CAMPANA [13]



$$Sen15° = \frac{100}{L-h} \quad \textbf{(3.11)} \quad y \quad Sen15° = \frac{100+\delta}{L} \quad \textbf{(3.12)}$$

$$L = \frac{100+25}{Sen15°} = 483mm \quad ; \quad h = L - \frac{100}{Sen15°} = 483 - 386 = 97mm$$

h/B = 97mm/100mm=0.97; α=30°≈ 0.2π ; δ/B = 0.32

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

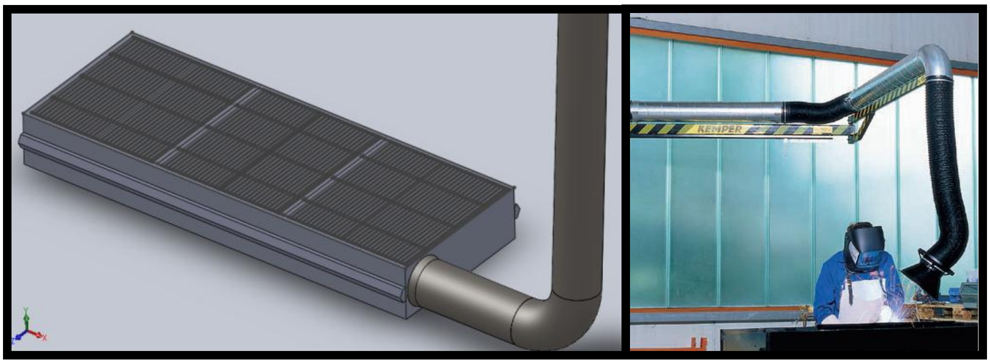


FIGURA 3.6. CAMPANAS DE EXTRACCIÓN

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 minima velocidad de sustentación de las partículas). Para partículas menores a 5μm se utiliza la ecuación de Stokes-Cunningham (3.13) y las ecuaciones 3.14 y 3.15.

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

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

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

Si se tiene que A_c=0.86; λ=0.07μm; según lo indicado en la bibliografía **[5]** y d_p=0.3μm; ρ_p= 530 Kg/m^3; Viscosidad cinemática = 16 x 10^{-4} m^2/s, y resolviendo las ecuaciones 3.13, 3.14 y 3.15.

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

$$V_{t\,stokes} = \frac{9.8m/s^2 \times 3\times10^{-6}m \times 530\,kg/m^3}{18\times16\times10^{-4}m^2/s}$$

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

$$K_c = 1 + 0.86\left(\frac{2\times0.07}{0.3}\right) = 1.40$$

$$V_t = 1.40\times0.54m/s = \underline{\underline{0.75m/s}}$$

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 futures 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.

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

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

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

$$\begin{aligned} v &= 4.033VP^{1/2} \\ VP &= \left(v/4.033\right)^2 \end{aligned} \quad \textbf{(3.18)}$$

$$VP = \left(23/4.033\right)^2 = \underline{\underline{32.52 mmc.d.H_2O}}$$

Si se tiene caudales de 0.20 m^3/s (Procesos de Soldadura) y de 12.44 m^3/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 $Q(m^3/h)$	CAUDAL $Q(m^3/s)$	ÁREA $A(m^2)$	DIÁMETRO d_{ducto} (mm)	LONGITUD (mm)	TOTAL (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**			
6	**F**	4320	1.2	0.0522	**258**	17600		
7	**G**	5040	1.4	0.0609	**278**	27320		
8	**H**	5760	1.6	0.0696	**298**			
9	**I - J - K**	44784	12.44	0.5409	**830**	7000	24000	**CORTE (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 α=30°.

Pérdidas de *fricción por longitud de ducto* para caudales de 720 m^3/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 90º con radio de curvatura 1.5*D,* $he_{90} = 0.39VP$ **(3.21)**, según Figuras 5-13, 6-12, MS-8 del **APÉNDICE I**.

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

Pérdidas en 8 *conexiones Y* a 60º, $he_Y = 0.44VP$ **(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 d_{ducto} (mm)	LONGITUD (mm)	FACTOR	PÉRDIDAS h_{eL} (mm c. d. H_2O)	PÉRDIDAS TOTAL h_{eL} (mm c. d. H_2O)
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 α=60°.

Pérdidas de *fricción por longitud de ducto* para caudal de entrada 44784 m^3/h y de salida de 50544 m^3/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 90º 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 60º*,* $he_Y = 0.44VP$ **(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	PRESION DINÁMICA VP	PÉRDIDAS he	PÉRDIDAS he mm c.d. H_2O	TOTAL h_T mm c.d. H_2O
SOLDADURA	CAMPANA	8	32.52 mm c.d.H2O	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 $h_T = he_c + he_L + he_{90} + he_Y + he_{ch}$ **(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.

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

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

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

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 diametros/espesores superiores a seis. **[18]**

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

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.

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

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

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

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

Para el **Ramal 2** se tiene:

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

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

Los ductos serán construidos de acero de Buena resistencia mecanica, Buena soldabilidad y de fácil adquisición como el ASTM A36. De tal manera que S = 36 Ksi ≈ 248 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:

$$C = 0.005\, {}^{pu\lg}\!/_{año} \times 0.0254m\!/_{1pu\lg} \times 10años = \underline{\underline{0.00127m}}$$

De tal manera que resolviendo la ecuación 3.30 se tiene:

Para el Ramal 1:

$$t_m = \frac{5.74KPa \times 0.105m}{2(248\times10^3 KPa \times 0.85 + 5.74KPa \times 0.4)} + 0.00127m$$
$$t_m = 0.00127m = \underline{\underline{1.27mm}}$$

Para el Ramal 2:

$$t_m = \frac{2.03KPa \times 0.830m}{2(248\times10^3 KPa \times 0.85 + 2.03KPa \times 0.4)} + 0.00127m$$
$$t_m = 0.00127m = \underline{\underline{1.27mm}}$$

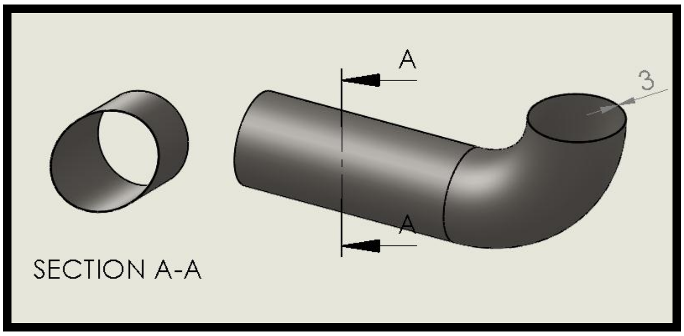


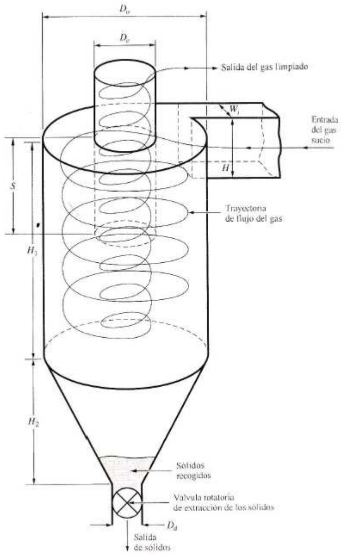
FIGURA 3.8. ESPESOR DE DUCTOS

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_o.



Dimesión del ciclón	Tipo de ciclón		
	Alta eficacia	Convencional	Alto rendimiento
Diámetro del cuerpo, D_0/D_0	1	1	1
Longitud del cilindro, H_1/D_0	1.5	2	1.7
Longitud del cono, H_2/D_0	2.5	2	2
Altura de la entrada, H/D_0	0.5	0.5	0.8
Anchura de la entrada, W_i/D_0	0.2	0.25	0.35
Diámetro de salida de gas, D_e/D_0	0.5	0.5	0.75
Diámetro de salida de polvo, D_d/D_0	0.375	0.25	0.4
Longitud de localización del vórtice, S/D_0	0.5	0.5	0.75

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*.

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

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]**

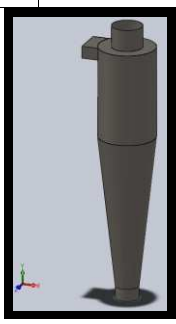
Se puede determinar la eficacia, según el modelo de Rossin, Rammler e Intelmann, asumiendo flujo laminar para las partículas que son capturadas, y sustituyendo en la velocidad de sedimentación de Stokes el efecto de la aceleración gravitacional por la centrífuga, para su cálculo se usará la ecuación 3.33.

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

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_2 (m)	2.5	N_e	5.5
H_1 (m)	1.5	ρ_p (Kg/m^3)	530
H (m)	0.5	d_p (m)	0.00001
W_i (m)	0.2	V_g (m/s)	24.7
D_e (m)	0.5	μ (Ns/m^2)	0.000018
D_d (m)	0.375	η (%)	69.81
S (m)	0.5	CICLÓN DE ALTA EFICACIA	
D_o (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.

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

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.

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

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	
ΔP (Pa)	94.85
Hv	6.4
K	16
ρ_g (Kg/m^3)	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 colectar 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 120ºC o 140ºC. **[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^3/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 ecuacion 3.36, se procede a calcular el área de filtrado.

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

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

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

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

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 ecuacion 3.37.

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

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

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

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

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

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

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:

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

$$\Delta P = 7 \times 10^{-4} KPa + (1.5 \times 10^5 \times 0.108 \times 0.040) / 1000$$
$$\Delta P = \underline{0.648 KPa}$$

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 ΔP	
	min	KPa	mm c.d.H_2O
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 µm 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 Ø = **0.20 m** y L = **4 m** de longitud, datos que servirá para calcular el área unitaria y el número de filtros con las ecuaciones 3.39 y 3.40.

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

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

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

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

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^2
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^3/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.

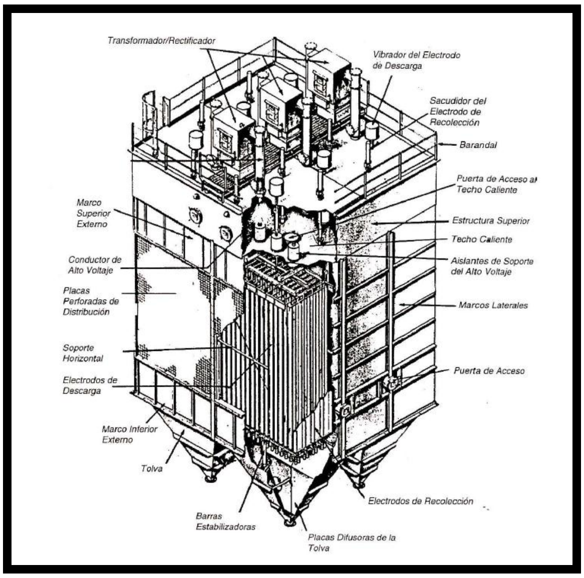


FIGURA 3.10. PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO - ESQUEMA [5]

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.

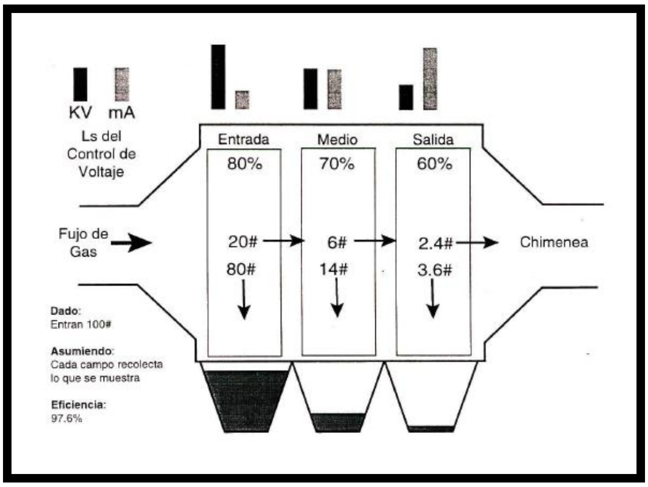


FIGURA 3.11. RECOLECCIÓN DE POLVO Y NIVELES DE VOLTAJE Y CORRIENTE [5]

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]**

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

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

Para seleccionar adecuadamente el precipitador electrostático se hará uso de la ecuación 3.41, para encontar 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
$ft^2/1000acfm = ft^2/kacfm$	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.

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

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

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

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.

	Caida de Presion Tipica (in. H_2O)	
Componente	**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
Total	**0.09**	**0.38**

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_2O, 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_2O, 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*

$$\Delta P = \underline{\underline{0.38 in H_2O (9.64 mm H_2O)}}$$

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_{ramal1} = 5760 m^3/h (*Procesos de Soldadura*)

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

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

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

Presión Estática o Cabezal Estático del Sistema:

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

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

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

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

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

$$SP_{ramal2} = 188.52 mm\, c.d.H_2O + SP_{FILTROSramal2} + 89 mmcdH_2O$$

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

$$SP_{FILTROSramal2} = (196.4 + 9.67 + 198 + 9.64) mmc.d.H_2O$$

$$SP_{FILTROSramal2} = 413.71 mmc.d.H_2O$$

$$SP_{ramal2} = (188.52 + 413.71 + 89) mmcdH_2O$$

$$SP_{ramal2} = \underline{\underline{691.23 mmcdH_2O}}\ (6778.5 Pa)$$

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

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

$$SP_{sistema} = 532.62\,mm\,c.d.H_2O + 691.23\,mm\,c.d.H_2O$$

$$SP_{sistema} = \underline{\underline{1223.85 mmc.d.H_2O}}$$

Temperatura máxima de Operación: 120° C.

Para el Ramal 1, $SP_{ramal1} = \underline{\underline{532.62mmc.d.H_2O}}\,(5223Pa)$ con caudal Q_{ramal1} = 5760 m^3/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.**

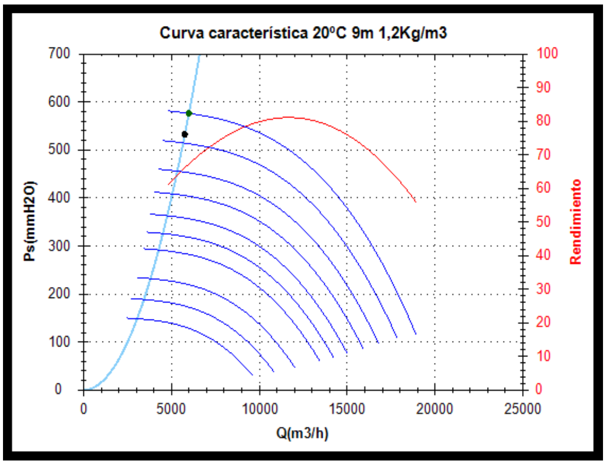


FIGURA 3.15. CURVA CARACTERÍSTICA DE VENTILADOR 1.

TABLA 13

PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO VENTILADOR 1

PUNTO DE DISEÑO	
Q (m^3/h)	5760
Ps (mmH_2O)	532.62
PUNTO DE SERVICIO	
Turbina rpm	3150
Temp. máxima (ºC)	300
Q (m^3/h)	5990.78
Ps (mmH_2O)	576.16
Pd (mmH_2O)	8.77
Pt (mmH_2O)	584.93
Vel. imp. (m/s)	11.98
Rend. (%)	67.31
Pot. Absorbida(KW)	14.20
Pot. Recom. (KW)	18.50

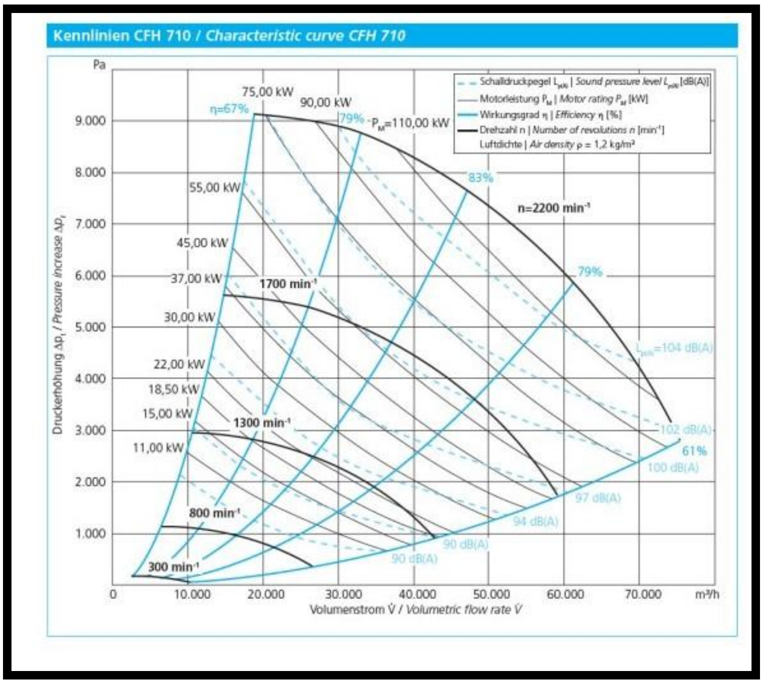


FIGURA 3.16. CURVA CARACTERÍSTICA DE VENTILADOR 2.

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*).

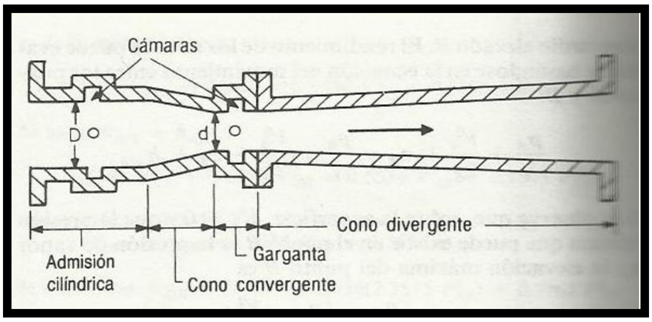


FIGURA 3.17. LAVADOR VENTURI [10].

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 permanence 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.

$$\Delta P = 1.013\times10^{-3}\times V_g^{\,2}\left(Q_L \big/ Q_G\right) \quad \textbf{(3.46)}$$

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

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

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

Si se tiene que D=0.8m(31 pulg) (Diámetro de la Tubería); d=0.4m (Diámetro de la contracción); β=0.4/0.8=0.5; de la Tabla 3.3.12 del **APÉNDICE L**, se tiene que C=0.985; $E = 1 \big/ \sqrt{1-0.5^4} = 1.033$; 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 $\mathbf{A_d}$=πxd^2/4= πx0.4^2=$\mathbf{0.314m^2}$ 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 µm también existe un rango de pérdidas de presión de 7 – 25 KPa. **[5]** se resuelve las ecuaciones 3.46, 3.47 y 3.48.

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

$$\Delta P = \underline{\underline{1926.16 Pa = 19.64 cmc.d.H_2O}}$$

$$19.64 cmc.d.H_2O = 1.013 \times 10^{-3} \times (18000\ cm/s)^2 \left(Q_L / Q_G \right)$$

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

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

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

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

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*.

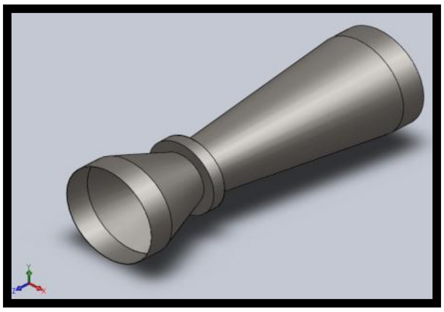


FIGURA 3.18. LAVADOR VENTURI DISEÑADO.

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:

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

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:

$$h_s = 12500 \times 1.5 = 18750\ mm = 18.75\,m$$

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

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

Velocidad del Viento v_v : 6 – 7.3 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.

$$A = \frac{Q_{sistema}}{3600\, v_v} \qquad \textbf{(3.51)}$$

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

$$d_{ducto} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \qquad \textbf{(3.52)}$$

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

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*)

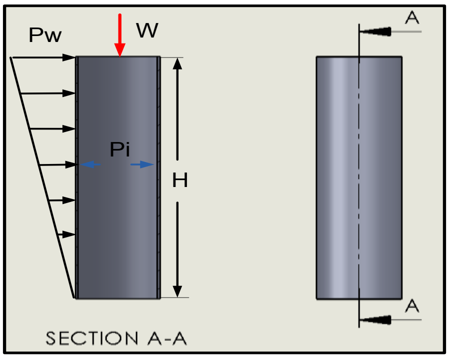


FIGURA 3.19. CARGAS QUE ACTÚAN SOBRE LA CHIMENEA

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:

$$W = Ah_s\rho \quad \textbf{(3.53)}$$

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

$$h_s = 18.75m\,; \quad \rho = 7850\ Kg/m^3$$

$$D_O = D_i + 2e = 0.85 + 2(3.175 \times 10^{-3})$$
$$D_O = 0.8564m$$

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

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

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.

$$P_W = q_s \times C_e \times C_q \quad \textbf{(3.55) [20]}$$

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.

$$q_s = 13lbf/_{pie^2} = 622Pa \quad \textbf{[20]}$$

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

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

$$P_W = 13lbf/_{pie^2} \times 1.6 \times 0.8$$

$$P_W = 16.64\, {lbf}\!\!\left/{pie^2}\right. = \underline{\underline{796.73\,Pa}}$$

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

$$V = P_W \times \pi \times D_o \times h_s \quad \textbf{(3.56)}$$

$$V = 16.64\, {lbf}\!\!\left/{pie^2}\right. \times \pi \times 0.8564m \times {1pie}\!\!\left/{0.305m}\right. \times 18.75m \times {1pie}\!\!\left/{0.305m}\right.$$

$$V = \underline{\underline{9024 lbf = 40.14N}}$$

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

$$M = V \times {h_s}\!\left/{2}\right. \quad \textbf{(3.57)}$$

$$M = 40.14N \times {18.75m}\!\left/{2}\right.$$

$$M = 376N.m(3334Lb.pu\lg)$$

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

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

$$R = {D_i}\!\left/{2}\right. \quad \textbf{(3.59)}$$

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

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

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

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

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).

$$t = \frac{PiR}{SE - 0.6Pi} \quad \textbf{(3.60)}$$

La presión interna es Pi **= 14.7 psi**

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

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

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

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

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

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

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 5*mpy* (milésimas de pulgada por año) y si se establece una vida útil de 15 años se obtiene el siguiente valor:

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

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:

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

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 90º del ducto hacia la chimenea. Con los siguientes valores se procede a calcular ambas pérdidas: $h_s = 18.75m$; $\phi = 0.85m$; $v = 25m/s$; $Q = 50544\ m^3/h$

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

$$VP = \left[\frac{25m/s}{4.033}\right]^2 = \underline{\underline{38.42mm\,cdH_2O}}$$

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 90º se las obtiene a partir de tablas que se indican en el **APÉNDICE I**.

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

$$h_{90} = 38.42mm\ cdH_2O$$

Pérdidas totales (ecuación 3.62) en la chimenea.

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

$$h_T = 12.19mmcdH_2O + 38.42mm\ cdH_2O$$
$$h_T = \underline{\underline{50.61mmcdH_2O}}$$

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

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

$$SP = 38.42 mm\, cdH_2O + 50.61 mmcdH_2O = \underline{\underline{89 mmcdH_2O}}$$

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE COSTOS.

Los costos y su metodología de estimación tienen un rango de ± 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.

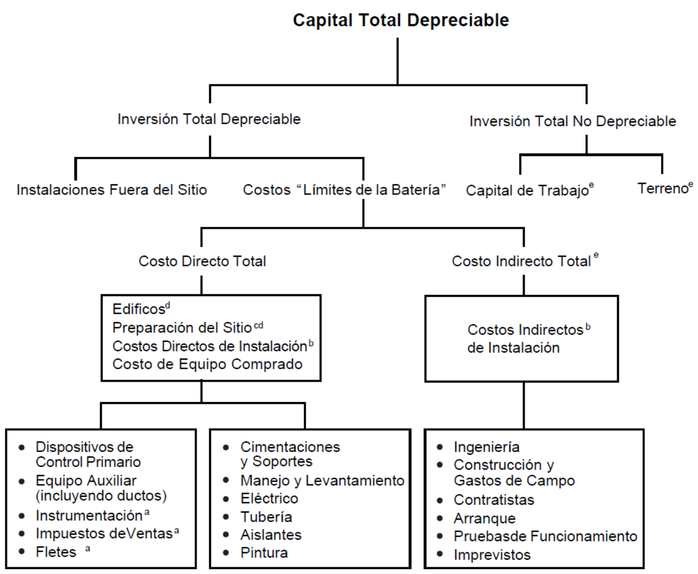
☞ Tamaño aproximado y tipos de construcción de cualquier edificio requerido para albergar el sistema de control.

☞ Estimación burda de las necesidades de servicios (electridad, 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]**



a Típicamente una fraccion específica de la suma los costos de los dispositivos de control primario y del equipo auxiliar.
b Típicamente una fraccion específica del costo del equipo comprado.
c Generalmente requeridos en instalaciones "desde las raices".
d Contrario a los otros cotos directos e indirectos, los costos por estos conceptos no son por lo general una fraccion específica del costo del equipo comprado. En lugar de eso, se dimensionan y costean por separado.
e Normalmente no se requiere con sistemas de control añadidos.

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*).

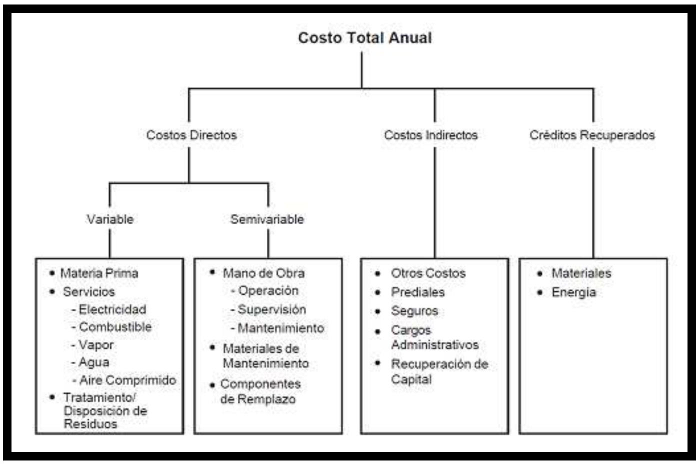


FIGURA 4.2. ELEMENTOS DE INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL ANUAL [19].

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.

$$CA = CD + CI \quad \textbf{(4.1)}$$

Costos de las Campanas de Extracción.

Tipo de Campana	Material de Fabricación	Parámetro de la Ecuación a	Parámetro de la Ecuación b	Rango de la Ecuación (A_f, ft²)
Toldo-circular	FRP[1]	128	0.577	2-200
Toldo-rectangular	FRP	306	0.506	2-200
Empuje-jale (*push-pull*)	FRP	620	0.321	2-200
Succión lateral	FRP	497	0.336	2-200
Succión Transera (Ranurada)	PVC[2]	307	1.43	0.6-2.0[3]
Succión Transera (Ranurada)	PVC[4]	797	0.504	1.1-2.1
Succión Transera (Ranurada)	PP[5]	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

[1] Plástico reforzado con fibra de vidrio
[2] Cloruro de polivinilo
[3] 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
[4] Cada campana está equipada con compuertas manuales de las ranuras y cuatro hileras de ranuras.
[5] 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**.

$$C_h = aA_f^{\,b} \quad \textbf{(4.2)}$$

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**.

$$C_d = aD_c^{\,b} \quad \textbf{(4.3)}$$

Tipo de Conducto	Material del Aislante	Espesor Aislante (*in.*)	Tipo de Ecuación	Parámetro de Ecuación *a*	*b*	Rango de la Ecuación (*D*, in.)
Circular-espiral[1]	Sheet-gal CS[2]	Ninguno	Función Potencia	0.322	1.22	3-84
Circular-espiral	Sheet-304 SS[3]	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[4]	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[5]	Ninguno	Función Potencia	2.49	1.15	6-84
Circular-longitudinal	Plate-304 SS[6]	Ninguno	Función Potencia	6.29	1.23	6-84
Cuadrado	Sheet-alum CS[7]	Ninguno	Lineal	0.254	2.21	18-48
Cuadrado	Sheet-alum CS	4	Lineal	21.1	5.81	18-48

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

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

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

[1] Codos de 90º de una sola pared, "armados", sin aislante
[2] Hoja de acero al carbón galvanizado
[3] Codos de 90º de pared doble, armados, con 1 pulgada de aislante de fibra de vidrio
[4] Compuerta de mariposa manual de una sola pared del tipo "*opposed blade*" ("cuchilla opuesta")
[5] Compuerta de mariposa manual de pared doble de "cuchilla opuesta", con 1 pulgada de aislante de fibra de vidrio
[6] Compuertas de persianas selladas el 95-98%
[7] Hoja de acero al carbón "aluminizada"
[8] 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[1]		Rango de la Ecuación	
	a	*b*	D_s(in)[2]	H_s(ft)[3]
PVC[4]	0.393	1.61	12-36	≤10
Placa de AC recubierta[5]	3.74	1.16	6-84	20-100
Placa Al 304[6]	12.0	1.20	6-84	20-100
Hoja AC galvanizada[7]	2.41	1.15	8-36	≤75
Hoja Al 304[8]	4.90	1.18	8-36	≤75
Hoja AC aislada/DP[9]	143.	0.402	18-48	≤15
Hoja AC no aislada/DP[10]	10.0	1.03	18-48	≤15
Hoja AC aislada/DP[11]	142.	0.794	24-48	30-75

[1] 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.
[2] Rango de diámetro de chimenea al cual se aplica cada ecuación.
[3] Rango de altura de chimenea al cual se aplica cada ecuación.
[4] Cloruro de polivinilo.
[5] Placa de acero al carbón con una cubierta de "*shop paint*" ("pintura de taller")
[6] Placa de acero inoxidable 304.
[7] Hoja de acero al carbón, galvanizada.
[8] Hoja de acero inoxidable 304.
[9] Hoja de acero al carbón aluminizado cubierta con 4 pulgadas de aislante de fibra de vidrio (construcción de doble pared).
[10] Hoja de acero al carbón aluminizada no aislada (construcción de doble pared).
[11] Los costos para estas chimeneas se expresan en $, y se correlacionan con el área superficial de la chimenea (S_s, ft^2).

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_s = 18.75 m (61.48 pie); D_s = 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*.

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

TABLA 14

COSTOS DIRECTOS ANUALES DE EQUIPOS (A)

VARIABLES	VENTILADOR 1	VENTILADOR 2
p_c (\$/KWh)	0.09	0.09
Q (pie^3/min)	3390	29749
F_d (pulg. c.d H_2O)	15.07	27.28
Θ (h/año)	1920	1920
ε	0.75	0.75
C_c (\$/año)	1,383.04	21,970.35

TABLA 15

COSTOS TOTALES ANUALES DE EQUIPOS (A)

COSTO DIRECTO ANUAL (B) ($)	23,353.39
COSTOS INDIRECTOS ANUALES (C) ($)	
IMPUESTOS PREDIALES (0.01A)	675.25
SEGURO (0.01A)	675.25
ADMINISTRATIVOS (0.02A)	1,350.50
COSTO TOTAL ANUAL (B+C) ($)	**26,054.40**

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: $8h/día \times 20días/1mes \times 12meses/año = \underline{\underline{1920h/año}}$.

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
		COSTO TOTAL DE EQUIPO ADQUIRIDO (E)	**32,385.00**
	INSTALACION	COSTOS DIRECTOS DE INSTALACIÓN	
		CIMIENTOS 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
		COSTO TOTAL DIRECTO DE INSTALACIÓN (F)	**12,630.15**
		PREPARACIÓN DEL SITIO **(G)**	1,200.00
		EDIFICACIONES **(H)**	800.00
		COSTO TOTAL DIRECTO (CD) (E+F+G+H)	**47,015.15**
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
		COSTO TOTAL INDIRECTO (CI) (I)	**14,573.25**
		INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL (TCI) (E+F+G+H+I)	**61,588.40**

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 $A_{filtrado} = \underline{\underline{345.2m^2}} = 3711 pies^2 = 3.71x10^3 \, pies^2$ 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

		COSTO DEL PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO	$ (USD)
COSTOS DIRECTOS	EQUIPOS	PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO (J)	38,280.00
		INSTRUMENTACIÓN (0.1J)	3,828.00
		IMPUESTOS (0.12J)	4,593.60
		TRANSPORTE (0.05J)	1,914.00
		COSTO TOTAL DE EQUIPO ADQUIRIDO (K)	48,615.60
	INSTALACION	COSTOS DIRECTOS DE INSTALACIÓN	
		CIMIENTOS 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
		COSTO TOTAL DIRECTO DE INSTALACIÓN (L)	18,960.08
		PREPARACIÓN DEL SITIO (M)	1,200.00
		EDIFICACIONES (N)	800.00
		COSTO TOTAL DIRECTO (CD) (J+K+L+M+N)	**69,575.68**

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^2 sería:

$$COSTO\,EQUIPO(\$) = 891.10(Área_{superficie\,recolección})^{0.6276} \quad \textbf{(4.5)}$$

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

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

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 ACERO	1	230.00	230.00
SUBTOTAL ($)				1,568.30
IMPUESTOS (12%)				188.20
TOTAL				**1,756.50**

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, REDUCTORES, VENTILADORES, CHIMENEA	93,579.70
FILTRO DE MANGAS	61,588.40
PRECIPITADOR ELECTROSTÁTICO	69,575.68
LAVADOR VENTURI	7,056.00
CICLÓN	4,600.00
INVERSIÓN DE CAPITAL TOTAL	**236,399.78**

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 indemizaciones, 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*.

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

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.