

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE EMISIONES DE
GASES DE COMBUSTIÓN DE BIOMASA BAJO CONDICIONES
CONTROLADAS

Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller

Ronald Eduardo Mas Bautista

ASESOR: Luis Ricardo Chirinos García

Lima, Marzo 2011

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño de un sistema de extracción de gases de combustión bajo condiciones controladas (velocidad y temperatura), con la finalidad de acondicionar los gases de combustión de la quema de la leña, bosta y yareta para la identificación y cuantificación de las emisiones según normas internacionales. Este sistema se instalará en el Laboratorio de Energía de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

El diseño de este sistema de extracción se basa en el método 5G de la Agencia del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA), que se centra en los procedimientos para la medición del material particulado de estufas estáticas. Esto se complementa con las recomendaciones la Sociedad Americana Gubernamental de la Industria Higiénica (ACGIH), Asociación Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), Asociación Nacional de Contratistas de Fabricación en Láminas de Metal para Aire Acondicionado (SMACNA), entre otros.

Las condiciones nominales de operación del sistema son las siguientes: capacidad de extracción de la mezcla de gases (aire con gases de combustión) $0,27\text{m}^3/\text{s}$, temperatura de la mezcla de gases al ingreso del sistema es de 76°C . Estas condiciones se alcanzan cuando en la estufa estática se quema 4.7 kg/hr de combustible (leña).

El sistema de extracción cuenta con tres zonas: (i) zona inicial, (ii) zona de estabilización, y (iii) zona de medición. Cada una de ellas cumple con una tarea predeterminada para llevar a cabo el proceso de medición.

Las dimensiones de los ductos y accesorios (longitud y diámetro) se estimaron en base a la velocidad recomendada de operación considerando el flujo de extracción de gases obtenido. Los diámetros de los ductos y sus longitudes se encuentran entre 150 mm a 300 mm , y 250 mm a 3030 mm , respectivamente.

Así mismo las dimensiones de las chimeneas se obtuvieron después de analizar las condiciones externas (edificaciones contiguas) al Laboratorio de Energía, siendo la altura obtenida de $21,5\text{m}$. Esta altura garantizaría la correcta dispersión al medio ambiente de los gases de combustión, evitando así la contaminación de los edificios con estos mismos. Sin embargo obtener esta altura no será posible debido a las condiciones en la infraestructura del Laboratorio.

Se calcularon las pérdidas de presión en la zona de medición, logrando obtener una caída de presión de $66,59\text{mmH}_2\text{O}$, este procedimiento se realizó para realizar la selección del ventilador a usar en esta zona con la finalidad de obtener un control permanente sobre la velocidad del flujo de gases en el interior del sistema de extracción. Finalmente se realizó un cuadro comparativo para las dos propuestas económicas presentadas por las empresas Tecnitemp EIRL e Ingeniería Industrial Arana EIRL para la fabricación del sistema de extracción, siendo la empresa Ingeniería Industrial Arana la que ofrece una mejor propuesta económica para realizar este trabajo.



Dedico este trabajo a Dios, a mis abuelas, a mis Padres Carlos y Carmela, Hermanos, Tía Ali, sobrinita, amigos y para el amor de mi vida Karina, para Ustedes con amor.

AGRADECIMIENTO

Agradezco la ayuda de los ingenieros Javier Tamashiro, Enrique Barrantes, Quino Valverde, Allan Flores, de mi asesor ing. Luis Chirinos y de todo el personal del Laboratorio de Energía, que sin su apoyo no hubiera logrado este objetivo.



INDICE

RESUMEN.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE.....	iv
NOMENCLATURA.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	
1.1. Utilización de biomasa en el país	3
1.2. Efectos derivados del uso de biomasa	4
1.3. Caracterización de las emisiones atmosféricas.....	5
1.4. Parámetros para el diseño del sistema de extracción	7
1.5. Consideraciones para el diseño.....	9
Referencias.....	17
Capítulo II: SISTEMAS DE VENTILACIÓN: UNIDADES DE EXTRACCIÓN, MECANISMOS DE CONDUCCIÓN Y EXPULSIÓN	
2.1 Sistemas de Ventilación	19
2.1.1 Clasificación de los sistemas de ventilación	19
2.1.2 Tipos de sistema de extracción	20
2.2 Mecanismos de extracción	21
2.2.1 Aspiración	21
2.2.2 Aspiración en aberturas de sección circular – rectangular	22
2.3 Unidades de extracción	23
2.3.1 Tipos de campana	23
2.3.2 Parámetros de diseño de la campana.....	25
2.3.2.1 Sección de la campana	25
2.3.2.2 Velocidad de captura	26
2.3.2.3 Determinación del caudal	26
2.3.2.4 Caída de presión en las unidades de extracción	30
2.4 Mecanismos de conducción	31
2.4.1 Sección transversal de los ductos.....	31

2.4.2	Material usado para conductos de ventilación	31
2.5	Pérdidas, factores de corrección y métodos de diseño en los mecanismos de conducción	32
2.5.1	Método de cálculo de la presión dinámica	32
2.5.2	Método de cálculo de la longitud equivalente	34
2.5.3	Procedimiento propuesto por la Asociación Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado – ASHRAE para el diseño de ductos	34
2.5.4	Corrección por temperatura, altitud y humedad	35
2.6	Velocidad y direccionamiento del flujo en los sistemas de extracción	36
2.6.1	Velocidad en los ductos	36
2.6.2	Direccionamiento del flujo	36
2.7	Expulsión de los gases para un sistema de extracción	37
2.7.1	Dimensionamiento de chimenea	38
2.7.2	Clases de salida de los gases de un sistema de extracción	39
2.8	Ventiladores – inyectores	39
2.8.1	Ventiladores	39
2.8.2	Selección de ventiladores	40
2.9	Consideraciones para la construcción de un sistema de extracción	41
2.10	Accesorios en el sistema	41
2.11	Espesores de los ductos y accesorios	42
	Referencias.....	44
 Capítulo III: DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN		
3.1	Flujo volumétrico de los gases de combustión	46
3.2	Diseño de la campana de extracción.....	51
3.2.1	Distancia entre la salida de los gases y la entrada a la campana de extracción.....	51
3.2.2	Caudal de aspiración	52
3.2.3	Verificación de la campana de extracción	53
3.3	Ubicación de compuertas en el sistema de extracción.....	62
3.4	Dimensionamiento de ductos y accesorios	63
3.4.1	Zona inicial	63

3.4.2 Zona de estabilización	65
3.4.3 Zona de medición	71
3.5 Cálculo de pérdidas de presión y selección del ventilador	73
3.5.1 Cálculo de pérdidas de presión	73
3.5.2 Selección del ventilador	79
3.6 Cálculo de la potencia del motor eléctrico.....	80
3.6.1 Potencia del ventilador	80
3.6.2 Potencia del motor eléctrico	81
3.7 Establecimiento de las consideraciones de instalación	82
Referencias.....	83
Capítulo IV: COSTOS DEL DISEÑO	85
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES.....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95
PLANOS	
ANEXOS	

NOMENCLATURA

$H_{campana}$:	Altura de la campana de extracción. [m]
h_{humo}	:	Altura de la columna de humo. [m]
H_B	:	Altura de la edificación con mayor altura más cercana. [m]
H_{estufa}	:	Altura de la estufa. [m]
H_b	:	Altura del edificio con menor altura más cercana. [m]
Hac	:	Altura del espacio a emplear. [m]
H_{ef}	:	Altura efectiva de la chimenea. [m]
H_{ze}	:	Altura total del ducto de salida de los gases. [m]
Aac	:	Ancho del espacio a emplear. [m]
2θ	:	Ángulo de salida del chorro de gases. [°]
A_{com}	:	Área de ducto con diámetro comercial. [m ²]
$A_{campana}$:	Área de la entrada de la campana de extracción. [m ²]
A_{esfera}	:	Área de la esfera. [m ²]
$A_{secc\ campana}$:	Área de la sección de la campana. [m ²]
$A_{cilindro}$:	Área del cilindro. [m ²]
A_{ducto}	:	Área del ducto [m ²].
A_e	:	Área externa del ducto. [m ²]
z_s	:	Altura final. [m]
z_e	:	Altura inicial. [m]
A_i	:	Área interna del ducto. [m ²]
$\Delta P_{pérdidas}$:	Caída de presión del sistema. [mmH ₂ O]
$\dot{Q}_{pérdidas}$:	Calor de pérdidas.

C_p	:	Calor específico a la temperatura promedio. [kJ/kgK]
C_{p_i}	:	Calor específico del compuesto i [kJ/kg.K].
Q	:	Calor transferido por el ducto. [W]
$\dot{V}_{\text{corregido}}$:	Caudal corregido. [m ³ /s]
$\dot{V}_{\text{emisión}}$:	Caudal de emisión de la fuente. [m ³ /s]
$\dot{V}_{\text{aspiración}}$:	Caudal de aspiración. [m ³ /s]
$\dot{V}_{\text{diseño}}$:	Caudal de diseño. [m ³ /s]
\dot{V}_i	:	Caudal de ingreso en el punto i. [m ³ /s]
\dot{V}_{ii}	:	Caudal de ingreso en el punto ii. [m ³ /s]
k	:	Coefficiente conductivo del material. [W/mK]
α_e	:	Coefficiente convectivo externo. [W/m ² K]
α_i	:	Coefficiente convectivo interno. [W/m ² K]
C	:	Coefficiente de pérdidas para accesorios.
f	:	Coefficiente de rozamiento.
$C.E_{p_i}$:	Coefficiente estequiométrico del producto i. [kmol/s]
a	:	Coefficientes adimensionales de turbulencia para chorros circulares con simetría axial.
R_{gases}	:	Constante de los gases de combustión. [kJ/kg.K]
R_i	:	Constante del gas i. [kJ/kg.K]
$\rho_{\text{aire amb}}$:	Densidad del aire ambiente [kg/m ³].
ρ	:	Densidad del fluido interno. [kg/m ³]
ρ_{gases}	:	Densidad de los gases de combustión. [kg/m ³]
ρ_{mezcla}	:	Densidad de la mezcla de gases [kg/m ³]
ϕ_{campana}	:	Diámetro de la campana de extracción. [m]

ϕ_{ze}	:	Diámetro de la zona de estabilización. [m]
$\phi_{emisión}$:	Diámetro de salida de los gases de combustión [m]
ϕ_{ducto}	:	Diámetro del ducto de ventilación. [m]
ϕ_{ducto_zi}	:	Diámetro del ducto en la zona inicial. [m]
ϕ_{dm}	:	Diámetro del ducto. [m]
D_o	:	Diámetro del ducto. [m]
ϕ_{suc}	:	Diámetro de la abertura de succión. [m]
D_h	:	Diámetro interno del ducto. [m]
D_h	:	Diámetro interno del ducto. [m]
ΔP_f	:	Diferencia de presión en la tubería. [Pa]
ΔP_{acc}	:	Diferencia de presión en el accesorio [Pa]
ΔP_f	:	Diferencia de presión en la tubería [Pa]
H	:	Distancia entre la salida de la fuente y la entrada a la campana de extracción. [m]
H	:	Distancia entre la salida de la fuente y la entrada al colector. [m]
d_{cc}	:	Distancia máxima entre la entrada de la campana de extracción y el punto de captura de la muestra. [m]
d_{vc}	:	Distancia mínima entre los puntos de medición de velocidad y captura. [m]
d_{ca}	:	Distancia mínima entre un accesorio y el punto de captura. [m]
d_{va}	:	Distancia mínima entre un accesorio y los puntos de medición de velocidad. [m]
d_n	:	Distancia adicional . [m]
$n_{transmisión}$:	Eficiencia de transmisión. []

n_{motor}	:	Eficiencia del motor eléctrico. []
$n_{ventilador}$:	Eficiencia del ventilador. []
\overline{h}_f°	:	Entalpía específica de formación para el compuesto f. [kJ/kmol]
h_{mezcla}	:	Entalpía específica de la mezcla [kJ/kg].
h_{gases}	:	Entalpía específica de los gases. [kJ/kg]
\overline{h}_{298}	:	Entalpía específica del compuesto a 25°C. [kJ/kmol]
h_i	:	Entalpía específica del compuesto i [kJ/kg].
$h_{aire\ amb}$:	Entalpía específica de aire ambiente respecto al aire seco [kJ/kgaire seco].
h_i	:	Entalpía específica para el compuesto i [kJ/kg].
\overline{h}_i	:	Entalpía específica para un estado. [kJ/kmol]
\overline{h}°	:	Entalpía específica para una temperatura. [kJ/kmol]
h_e	:	Entalpía específica de ingreso al volumen de control.
h_s	:	Entalpía específica de salida al volumen de control.
$E_{adicional}$:	Espesor adicional. [mm]
$E_{accesorio}$:	Espesor de accesorio. [mm]
L_{ancho}	:	Espesor de la campana de sección rectangular. [m]
t	:	Espesor del ducto. [m]
E_{ducto}	:	Espesor del ducto. [mm]
B	:	Factor de cálculo. [psi]
F_{pd}	:	Factor de pérdida de presión en el ducto. [mmcd/m]
F_{acc}	:	Factor de pérdida de presión para accesorios. []
\dot{Q}_{VC}	:	Flujo de energía transferido mediante calor en el volumen de control.

\dot{m}_{gases}	:	Flujo másico de gases de combustión. [kg/s]
$\dot{m}_{aire\ amb}$:	Flujo másico del aire ambiente [kg/s].
$\dot{m}_{aire\ seco}$:	Flujo másico del aire seco [kg aire seco/s].
\dot{m}	:	Flujo másico. [kg/s]
\dot{V}_{gases}	:	Flujo volumétrico de los gases de combustión. [m ³ /s]
$\dot{V}_{aire\ amb}$:	Flujo volumétrico del aire ambiente. [m ³ /s]
\dot{V}	:	Flujo volumétrico [m ³ /s].
\dot{W}_{VC}	:	Flujo de energía transferido mediante trabajo en el volumen de calor.
\dot{m}_e	:	Flujo másico de ingreso al volumen de control.
\dot{m}_{mezcla}	:	Flujo másico de la mezcla [kg/s].
\dot{m}_s	:	Flujo másico de salida al volumen de control.
X_i	:	Fracción de masa [kg/kg]
g	:	Gravedad.
x	:	Humedad absoluta. [$\frac{kg_{vapor}}{kg_{aire\ seco}}$]
ϕ	:	Humedad relativa. [%]
L_{largo}	:	Largo de la campana de sección rectangular. [m]
L_{lc}	:	Largo del espacio a emplear. [m]
$L_{ventilador}$:	Longitud de tramo recto antes del ventilador. [m]
L_i	:	Longitud del ducto en la parte i. [m]
L_{zc}	:	Longitud del ducto para la zona inicial. [m]
L_{ducto}	:	Longitud del ducto. [m]

$L_{pestaña}$:	Longitud de la pestaña de la campana de extracción. [m]
L	:	Longitud del cilindro ó longitud del sumidero lineal. [m]
$L_{cilindro}$:	Longitud total del cilindro. [m]
m_i	:	Masa del compuesto i. [kg]
M_i	:	Masa molecular del compuesto i. [kg/kmol]
m_{total}	:	Masa total. [kg]
mmcda	:	Milímetro de columna de agua.
Re	:	Número de Reynolds.
ΔP_{acc}	:	Pérdida de presión en los accesorios. [mmcda]
ΔP_{ducto}	:	Pérdida de presiones en el ducto. [mmcda]
ΔP_{ce}	:	Pérdida de presión del fluido en el tramo comprendido entre la salida de los gases de la estufa y la entrada a la campana. [Pa]
P_{motor}	:	Potencia del motor eléctrico. [kW]
$P_{ventilador}$:	Potencia en el rotor del ventilador. [kW]
P_{atm}	:	Presión atmosférica. [kPa]
PD_d	:	Presión dinámica. [mmcda]
PE_{tramo}	:	Presión estática en el tramo. [mmcda]
PE_{mayor}	:	Presión estática mayor. [mmcda]
PE_{menor}	:	Presión estática menor. [mmcda]
$PE_{unión}$:	Presión estática en la unión. [mmcda]
P_a	:	Presión máxima de trabajo. [psi]
$P_{vapor\ sat}$:	Presión parcial de vapor de saturación a la temperatura ambiente. [kPa]
r_{es}	:	Radio de la esfera ó distancia de la fuente al punto de succión. [m]
r_e	:	Radio externo del ducto. [m]

r_i	:	Radio interno del ducto. [m]
ε	:	Rugosidad absoluta del material del ducto. [m]
S_{tm}	:	Sección transversal del ducto. [m ²]
\sum_e	:	Sumatoria de ingresos.
\sum_s	:	Sumatoria de salida.
T_{amb}	:	Temperatura ambiente [°C].
T_{pc}	:	Temperatura en el punto de captura. [°C]
T_{pv}	:	Temperatura en el punto de medición de la velocidad [°C]
T_{mezcla}	:	Temperatura de la mezcla [K].
T_{sg}	:	Temperatura de los gases a la salida del ducto. [°C]
T_{gases}	:	Temperatura de los gases de combustión. [°C]
T_f	:	Temperatura interna final. [°C]
T_i	:	Temperatura interna inicial. [°C]
T_{sup}	:	Temperatura superficial. [°C]
S_0	:	Tramo inicial. [m]
V_{cp}	:	Velocidad de captura. [m/s]
V_{sg}	:	Velocidad de la salida de gases. [m/s]
V_{fluido}	:	Velocidad del fluido [m/s].
V_d	:	Velocidad del fluido en el ducto. [m/s]
V_v	:	Velocidad del viento. [m/s]
$V_{dñ}$:	Velocidad de diseño en el ducto. [m/s]
V_r	:	Velocidad real del ducto. [m/s]
μ	:	Viscosidad [Pa.s]
v	:	Volumen específico [m ³ /kg aire seco].

- v_{es} : Volumen específico. [m^3/kg]
- t_{vm} : Variación en la medición de la temperatura. [$^{\circ}C$]
- C_e : Velocidad de ingreso al volumen de control.
- C_s : Velocidad de salida al volumen de control.
- dE_{vc} / dt : Velocidad instantánea de variación de la energía contenida en el volumen de control.



Introducción.

En el año 2007 el Instituto Nacional de Estadística (INEI) realizó el XI Censo de Población y el VI Censo de Vivienda con el apoyo del Fondo de Población de las Naciones Unidas, revelando que el número de habitantes y familias corresponde a 18 220.764 y 6 755.361 respectivamente. Asimismo, se determinó la condición socio-económica de las familias, para lo cual se utilizó como indicativo el tipo de fuente energética empleada para la cocción de alimentos, encontrándose a las energías primarias comerciales y no-comerciales como las de mayor consumo.

El Instituto Nacional de Estadística e Informática señala que el número de hogares consumidores de biomasa a nivel nacional asciende a 2 320.753, encontrándose la leña, bosta y yareta entre los más utilizados.

Debido al consumo no solo local si no también internacional de la leña como combustible para estufas estáticas y de otro tipo, la Agencia del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA) ha realizado estudios sobre los compuestos que se originan durante su combustión. La variabilidad de resultados se atribuye a la composición química y a las condiciones de uso de cada combustible orgánico por parte de los consumidores. Estos dos factores dificultaron la identificación y determinación cualitativa y cuantitativa de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), material particulado y otros compuestos volátiles que se emiten en los gases de combustión.

En nuestro país, el alto número de hogares rurales consumidores de leña, bosta o yareta, y el incremento de las enfermedades respiratorias en los usuarios de estos combustibles orgánicos, han incentivado el desarrollo de estudios para determinar el impacto de dicha actividad en la salud humana y el diseño de una cocina adecuada para cada combustible. Sin embargo estos estudios están siendo limitados por no poder identificar con exactitud las sustancias cancerígenas como los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) presentes en los gases de combustión de la biomasa.

El Dr. Accinelli por encargo de la Sociedad Peruana de neumología, realizó un estudio en las comunidades de Ayamachay y Uyshahuasi, (Provincia de Ferreñafe, Departamento de Lambayeque), en el cual se establece que las personas bajo la influencia de las emisiones atmosféricas de las cocinas de leña sufren un daño equivalente a fumar 20 cajetillas de cigarrillos

En nuestro país el Ministerio de Energía y Minas emite anualmente una estimación respecto a las emisiones atmosféricas que se generan por el consumo de combustibles en base a hidrocarburos como energías primarias y secundarias a nivel comercial, es decir identifica y cuantifica a los agentes contaminantes vinculados con el efecto invernadero provenientes solamente del consumo de los hidrocarburos.

Considerando los estudios relacionados con la identificación y cuantificación de las emisiones atmosféricas, las condiciones de combustión y variedad de biomasa empleada por la población para la provisión de energía térmica, y la evidencia médica de los efectos de dichas emisiones sobre la salud humana es de suma importancia la caracterización de las emisiones atmosféricas provenientes de los procesos de combustión de la biomasa oriunda.

Por lo tanto el presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal el diseño de un sistema de extracción y conducción de gases de combustión provenientes de una estufa estática que permita la captura y caracterización de las emisiones atmosféricas de los gases de combustión de acuerdo a las especificaciones de las normas nacionales e internacionales con el propósito de comparar resultados.

Además del objetivo principal en el presente trabajo se tratará de alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Cuantificar las condiciones de ingreso (caudal y temperatura) de la mezcla de gases al sistema de extracción.
- Definir la geometría y características del sistema de extracción.
- Seleccionar el mecanismo de inducción más adecuado para el sistema de extracción.
- Determinar la altura de las chimeneas para el sistema de extracción.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Utilización de biomasa en el país.

El consumo energético a nivel nacional para el año 2008 llegó a la cifra de 535 392TJ [MINEM 2008:1-1] estando entre sus principales fuentes los hidrocarburos, electricidad y la biomasa¹. La biomasa representa el 11,9% [MINEN 2008:1-2] del total de las principales fuentes, siendo constituida por la leña², bosta³ o yareta⁴, empleados en las cocinas del tipo de “fuego abierto” (figura 1.1) en hogares rurales [INEI 2008:1] debido a que es un recurso de fácil acceso y con bajo costo de adquisición.



Figura 1.1: Cocina de fuego abierto.

¹ “Materia orgánica no fósil de origen biológico que puede ser utilizada con fines energéticos para la producción de calor y algunas veces también de electricidad. Bajo este concepto se agrupan el bagazo, la bosta, la yareta y los residuos agrícolas.” [MINEN 2008:3]

² “Conjunto de ramas, matas y troncos extraídos de árboles y arbustos, cortados en trozos que se utilizan principalmente en el sector doméstico para producir calor mediante su combustión. La leña es la madera utilizada para hacer fuego en estufas, chimeneas o cocinas. Es una de las formas más simple de biomasa.” [MINEN 2008:4]

³ “La Bosta consiste en el excremento del ganado vacuno secado al ambiente en forma de bloques, que se utiliza como piezas de combustible para cocinas y hornos domésticos. En sentido estricto es el resultado del proceso digestivo, y se refiere a los elementos desechados por un organismo vivo. Este elemento constituye el combustible de las poblaciones ubicadas en el área rural. La bosta es utilizada en localidades muy aisladas.” [MINEN 2008:5]

⁴ “La yareta es una planta umbelífera que crece en zonas andinas de gran altitud. Este vegetal después de ser secado al ambiente es quemado como fuente combustible para uso doméstico generalmente en zonas rurales. Esta planta es conocida también por sus propiedades curativas.” [MINEN 2008:6]

1.2 Efectos derivados del uso de biomasa.

En nuestro país 2 320.753 familias [INEI 2008:2-1] son consumidoras directas de leña, bosta y yareta, de las cuales aproximadamente el 64% [INEI 2008:2-2] corresponde a los hogares de las zonas rurales. Estos combustibles son empleados en cocinas del tipo de fuego abierto, aprovechando solo entre el 10% y el 15% del potencial térmico de cada uno de estos [ACCINELLI 2004:1-1].

Además de los inconvenientes que se presentan en el mecanismo de transferencia de calor en las cocinas de fuego abierto, también se identifica el inadecuado mecanismo de extracción de gases de combustión lo cual origina en la vivienda una contaminación intradomiciliaria generando en los usuarios exposiciones a los humos de tipo crónica⁵ o aguda⁶.

Resultados médicos demuestran que la exposición a estos gases contaminantes generan en los usuarios deterioro en su salud, debido a que afecta las defensas del sistema neumológico al entrar en contacto con éstos, siendo los más representativos el monóxido de carbono, los hidrocarburos, partículas suspendidas entre otros [ACCINELLI 2004:1-2]. Así mismo la probabilidad de contraer enfermedades respiratorias crónicas o agudas e infecciones pulmonares aumentan según sea el tipo de exposición.

Según estudios realizados en las comunidades de Ayamachay y Uyshahuasi provincia de Ferreñafe departamento de Lambayeque; se determinó que la población femenina está expuesta a mayor riesgo de contraer enfermedades en las vías respiratorias debido a su prolongada exposición a los gases emitidos durante la cocción de sus alimentos por la combustión de la biomasa.

⁵ “Exposición crónica se denomina al contacto con una sustancia que se produce por un periodo largo de tiempo (más de un año en el caso de las personas)” [GREENFACTS 2009:1]

⁶ “Contacto con una sustancia que ocurre una sola vez o durante un período de tiempo corto (hasta 14 días [en el caso de los seres humanos])” [GREENFACTS 2009:2]

1.3 Caracterización de las emisiones atmosféricas.

- Método de caracterizaciones.

La combustión al ser una reacción exotérmica libera energía térmica y residuos propios según el tipo de carburante y la clase de combustión que se realice.

La biomasa es combustible de características variables, es decir la cantidad de elementos moleculares no son los mismos debido a que estos varían en proporción según la región de procedencia. Además de esta característica, la variabilidad en el proceso de combustión depende directamente del usuario final.

Ante la variación en el uso de la leña, bosta y yareta instituciones internacionales como la Agencia del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA) y la Asociación Internacional de Pruebas en Materiales (ASTM) entre otras, desarrollaron procedimientos para realizar la identificación cualitativa y cuantitativa de los compuestos que se emiten durante la combustión de la biomasa en los diversos modelos de cocinas estáticas logrando así garantizar la uniformidad en los procedimientos de análisis en los gases de combustión.

Por tal motivo para asegurar la intercambiabilidad de los resultados que se obtengan de las muestras que se tomarán en este sistema de extracción, el presente trabajo seguirá las indicaciones que realiza la Agencia del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica en su método 5G. Cabe señalar que la EPA es a nivel internacional una de las instituciones que promueve la generación de nuevas técnicas y métodos de medición de emisiones atmosféricas. Además los diferentes métodos desarrollados por la EPA son la base del funcionamiento y procedimientos que siguen los diversos equipos de medición que actualmente se emplean para lograr la caracterización de las emisiones atmosféricas.

- Sistema recomendado.

En el método EPA 5G, además de indicar los procedimientos a realizar durante la captura y posterior tratamiento de las muestras, también se dan recomendaciones para el diseño del sistema de extracción y tratamiento de los gases de combustión generados.

La figura 1.2 muestra el esquema de los procesos que se deben de realizar en el sistema a diseñar.

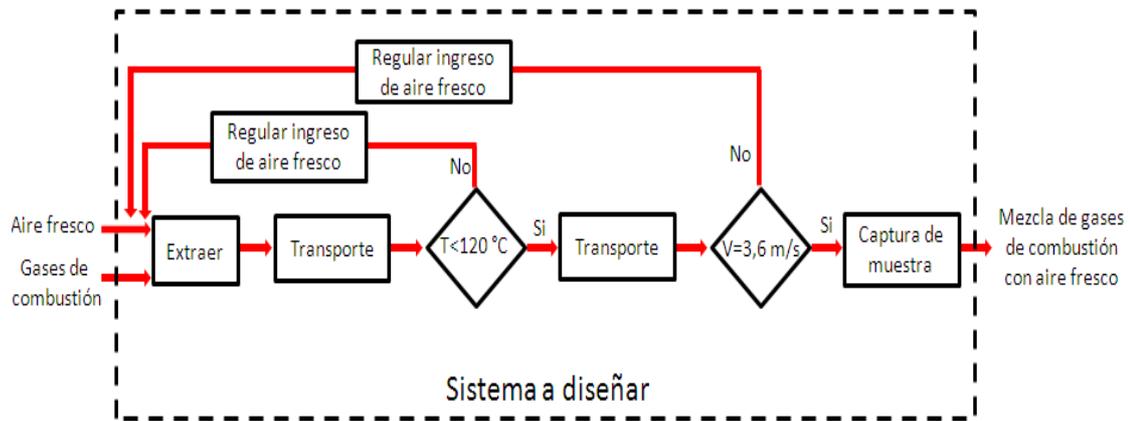


Figura 1.2 Esquema de los procesos que se desarrollaran en el sistema a diseñar

El sistema de extracción a diseñar contará de una campana de extracción (proceso de extracción) encargado de realizar la captura y direccionamiento de los gases provenientes de la cámara de combustión. Para esto se deberá cumplir con las siguientes condiciones: aspiración total de los gases de combustión, proporcionar un espacio donde se realice la mezcla de éstos con el aire circundante y direccionamiento hacia los ductos.

Para el diseño de los ductos, el método proporciona recomendaciones sobre las condiciones de llegada del flujo a la zona de captura de la muestra a analizar; al ser el proceso de combustión de inicio muy variable es necesario un intervalo de tiempo para alcanzar la estabilización de la quema. Por ello es necesario que estos gases que se emitan al inicio sean conducidos de manera independiente del proceso de captura de las muestras.

Por tal motivo el sistema de conducción de gases se subdividirá de la siguiente manera: la primera etapa denominada **zona inicial**, estará compuesta por la campana de extracción y por un ducto el cual conducirá a los gases de combustión hacia la derivación del sistema. Esta derivación determinará la dirección final de los gases de combustión.

La segunda etapa será la **zona de estabilización**, será la encargada de conducir inicialmente el flujo de gases hasta lograr la estabilización de la quema dentro de la cámara de combustión, una vez obtenida la estabilización esta primera etapa dejará de funcionar para dar paso a la puesta en marcha de la tercera etapa. Esta tercera etapa denominada **zona de medición**, será la encargada de llevar y acondicionar al flujo de gases a las características necesarias que indica el método para iniciar la captura de la muestras.

En la zona de medición, de acuerdo a las indicaciones del método 5G, los parámetros a controlar son la velocidad (220m/min) y temperatura (máxima de 120°C), las cuales deberán permanecer constantes, por lo cual será necesario utilizar un eyector o ventilador y además un sistema de control para el flujo de gases.

Finalmente el sistema además de permitir la extracción de los gases, obtener las condiciones para el análisis del flujo, realizar la medición de velocidad y temperatura; también debe permitir al interior de la instalación la completa limpieza antes de cada ensayo para reducir la posibilidad de contaminación con partículas de diferentes tipos de combustibles a ensayar.

1.4 Parámetros para el diseño del sistema de extracción:

Completando las recomendaciones dadas en EPA 5G, otras instituciones como la Asociación Americana de Calefacción, Refrigeración y aire Acondicionado (ASHRAE), la Sociedad Americana y Gubernamental de La Industria Higiénica (ACGIH), la Asociación Internacional de Pruebas en Materiales (ASTM) entre otras y profesionales especializados en la materia, han desarrollado métodos para la elaboración de los sistemas de extracción y conducción de gases por lo cual se considerarán también dichos procedimientos para la elaboración del diseño del sistema requerido.

- Temperatura de trabajo:

La temperatura de los gases a la entrada de la campana de extracción dependerá de la temperatura que se alcance en la cámara de combustión. Según Dean Still la temperatura que se alcanza en las cocinas que usan leña como combustible, excede a los

1100°C [STILL 2005:1] sin embargo este valor no es estándar para todos los procesos de combustión. Por otro lado se ha reportado también 1200°C [BURSCHEL 2003:1] como temperatura de combustión.

Los valores de temperatura máxima en los puntos de medición dependerán del fabricante de los equipos a usar. Sin embargo en la captura de la muestra la temperatura que se obtenga debe de garantizar que no se produzca condensación lo cual depende de la temperatura de condensación de los productos de combustión.

Finalmente los valores de las temperaturas de trabajo para todo el sistema de extracción y conducción están expresados en la tabla 1.1.

Tabla 1.1: Temperaturas de diseño del sistema de extracción – conducción.

Parámetro	Nomenclatura	Valores máximos
Temperatura de los gases de combustión	T_{gases}	1200 °C ^[1]
Temperatura en el punto de medición de la velocidad	T_{pv}	Variable
Temperatura en el punto de captura	T_{pc}	120°C ^[2]

[1] Valor de temperatura considerado para el diseño.

[2] Temperatura máxima en el punto de captura. EPA 5G

- Velocidad de Aspiración:

En las campanas de extracción para asegurar su adecuado funcionamiento, la velocidad de captura debe garantizar la retención de todas las partículas en suspensión que tiene el fluido. Los valores de ésta velocidad dependerán directamente del modo de emisión de gases, mostrados en la tabla 1.2.

Tabla 1.2: Velocidades de captura recomendada según fuente de emisión.

Modo de Generación	$V_{\text{cp.}}$ (m/s)
Liberado sin velocidad \approx aire tranquilo	0,25 – 0,5
Liberado baja velocidad \approx aire moderadamente quieto.	0,5 – 1,0
Generación activa	1 – 2,5
Liberado con alta velocidad	2,5 – 10

Fuente: [ACGIH 1992:1]

- **Velocidad en el sistema de conducción:**

La definición de los parámetros de operación del sistema de conducción para las zonas de estabilización y de medición serán establecidos por las recomendaciones que se realizan en el método EPA 5G y de las siguientes organizaciones: ACGIH, ASHRAE y ASTM.

- **Velocidad de gases en tuberías - Zona de Estabilización:**

Los valores para la velocidad según sea la naturaleza del contaminante están expresados en la tabla 1.3.

Tabla 1.3: Velocidades de diseño recomendadas para conductos.

Naturaleza del contaminante	V_{dn} (m/s)
Vapores, gases, humos de combustión	5 – 10
Humos de soldadura, polvos muy finos, ligero y secos	10 – 15
Polvo ordinario	17,5 – 20
Polvos pesados	20 – 22,5
Polvo pesado húmedo	> 22,5

Fuente: [ACGIH 1992:2]

- **Velocidad de gases en tuberías - Zona de Medición:**

Según EPA 5G la captura de la muestra para la caracterización de las emisiones debe estar de acuerdo con la tabla 1.4.

Tabla 1.4: Parámetro de operación en la zona de medición.

Parámetro	Simbología	Valor
Velocidad del fluido en el ducto	V_{do} (m/min)	220 \pm 5%

Fuente: [EPA 5G: 1]

1.5 Consideraciones para el diseño:

- **Espacio a ocupar por el sistema de extracción y conducción:**

Para lograr la caracterización cualitativa y cuantitativa de los compuestos que se producen durante la combustión de la biomasa, es necesario tener un ambiente en donde se brinden todas las medidas de seguridad necesarias para garantizar el correcto desarrollo de las actividades que conlleven a obtener las muestras requeridas para su posterior análisis.

Para tal fin, las instalaciones del Laboratorio de Energía de la Pontificia Universidad Católica del Perú tiene un sistema de seguridad⁷ que conjuntamente a las recomendaciones proporcionadas para el procedimiento de ensayo en el método de la EPA 5-G garantizarían la relación de los ensayos y la seguridad personal.

Tabla 1.4: Dimensiones del espacio a ocupar por el sistema de extracción - conducción.

Parámetros	Simbología	Valor
Largo del espacio a emplear	L_c (m)	6,0
Ancho del espacio a emplear	A_{ac} (m)	2,5
Altura del espacio a emplear	H_{ac} (m)	6,5

Datos proporcionados por el personal del Laboratorio de Energía.

- Salida de los gases al medio ambiente:

Las instalaciones del Laboratorio de Energía, donde se desarrollará los trabajos de caracterización de las emisiones de los gases de combustión de la biomasa se encuentran ubicadas dentro del Campus Universitario, por ello se debe de considerar la cercanía de los edificios contiguos al laboratorio en donde se tenga mayor fluencia de personas sin importar la naturaleza de las acciones que se realizan.



Figura 1.2: Esquema de la vista de planta e identificación de edificios contiguos al Laboratorio de Energía.

⁷ El sistema de seguridad del Laboratorio de Energía sigue lo indicado en el Reglamento Interno de Seguridad y Salud en el Trabajo de la Pontificia Universidad Católica del Perú para las unidades de Laboratorios.

Alrededor del laboratorio se ubican edificios ocupados por personas a lo largo del día (ver figura 1.2), por lo cual se debe tener en cuenta las alturas máximas y mínimas de estas edificaciones con el propósito de establecer la altura final de los ductos que permitirán la expulsión de gases al medio ambiente.

Tabla 1.5: Alturas máximas y mínimas de las edificaciones contiguas al Laboratorio según la figura 1.2

Edificio	Altura (m)	
	Máxima	Mínima
A	11	3
B	8	2,7

Alturas tomadas en campo

- Direccionamiento del flujo de gases de combustión:

El sistema de conducción al contar con dos zonas definidas (zona de estabilización y zona de medición), debe asegurar que el flujo de gases no recorra ambas partes del sistema en forma simultánea.

Para cumplir con este requerimiento y separar estas dos zonas se emplearán dos compuertas, las cuales serán dimensionadas según la geometría de los ductos correspondientes a cada zona y su ubicación debe de garantizar el correcto recorrido del flujo de gases en el sistema. Para ello se emplearán dispositivos como los mostrados en la figura 1.3.



Figura 1.3: Dos tipos de compuertas empleadas actualmente en los sistemas de ventilación para direccionar el flujo circulante.

- **Condiciones de trabajo adicionales en las zonas de estabilización y medición:**

El enfriamiento de los gases de combustión genera subproductos como líquidos corrosivos. En tal sentido es necesario considerar los posibles productos resultantes de la combustión de biomasa y además de los efectos que estos producen al entrar en contacto con diversos materiales.

Tabla 1.6: Condiciones de trabajo del sistema de extracción – conducción.

Condiciones de trabajo	Posibilidad	
	Si	No
Temperatura mayores de 100°C	x	
Encontrar agentes corrosivos ácidos entre otros.	x	
Partículas sólidas en suspensión	x	
Partículas líquidas en suspensión		x

Valores asumidos para el diseño del sistema de extracción.

- **Geometría del sistema de extracción:**

Extracción de gases de combustión:

Las recomendaciones que realiza la EPA respecto de la geometría de la campana de extracción están relacionadas con la sección transversal y diámetro mínimo de entrada. Además de estas dos recomendaciones la Sociedad Americana y Gubernamental de Industria Higiénica (ACIGH) proporciona recomendaciones sobre valores para el ángulo entre la unión de la campana de extracción con el inicio del sistema de conducción.

Conducción de gases de combustión:

La geometría del sistema de conducción estará definida de acuerdo a recomendaciones de EPA 5G, sin embargo se debe de considerar otras recomendaciones para la zona de estabilización.

Tabla 1.7: Recomendaciones de la EPA y la ACIGH sobre la geometría de la campana de extracción.

Observaciones	
Sección transversal de la campana de extracción.	Circular
Diámetro mínimo de la campana de extracción	0,30 m
Ángulo de unión campana de extracción – ducto	60° - 90°

Fuente: EPA 5G

• **Zona de medición:**

La EPA, en el método 5G, establece recomendaciones relacionadas con las características físicas de la zona de medición tales como: la sección transversal del ducto (S_m), rango para el diámetro del ducto (ϕ_{dm}), ubicación de los puntos de medición de velocidad y captura de gases, accesorio para el cambio de dirección del flujo de gases, distancia mínima entre los puntos de medición de velocidad y captura (d_{vc}), distancia mínima entre un accesorio y los puntos de medición de velocidad (d_{va}) y de captura (d_{ca}), variación en la medición de la temperatura (t_{vm}) y finalmente la distancia máxima entre la entrada de la campana de extracción y el punto de captura de la muestra (d_{cc}) (ver tabla 1.7).

Tabla 1.8: Recomendaciones de la EPA sobre la geometría en la zona de medición.

Característica:	Recomendación:
S_m	Circular
ϕ_{dm}	0,15 m – 0,30 m
Ubicación de los puntos de medición	Primero: Velocidad. Segundo: Captura.
Accesorio para cambio de dirección del flujo	Codo de 90°
d_{vc}	1,2 m
d_{va}	1,2 m
d_{ca}	0,30 m
t_{vm}	± 3 °C
d_{cc}	9,1 m

Fuente: [EPA 5G: 2]

Con respecto a la medición de la temperatura de los gases, la EPA no realiza ninguna recomendación sobre el punto donde se ubicará el sensor de temperatura, por lo que la ubicación de este punto se basará en la facilidad de montaje y acceso por parte del usuario.

- **Zona de estabilización:**

La geometría adoptada para esta zona referida a la sección transversal, longitud y diámetro del ducto, es similar a la zona considerada en la zona de medición. Sin embargo también se deberá tener en cuenta las recomendaciones de instituciones especializadas en la materia como la ACGIH, ASHRAE y EPA.

- **Otras consideraciones para el diseño del sistema de extracción – conducción.**

Caída de presión:

Para este parámetro la EPA se refiere a la pérdida de presión del fluido en el tramo comprendido entre la salida de los gases de la estufa y la entrada a la campana de extracción del sistema de extracción (ΔP_{ce}), debiendo ser esta pérdida no mayor a 1,25Pa [EPA 5G: 3].

Soportes del sistema de extracción:

Según recomendaciones de la Sociedad Americana y Gubernamental de la Industria Higiénica (ACGIH), sugiere que la distancia de los puntos de apoyo hacia cualquier tipo de accesorio (codo, uniones tee, etc), no sea mayor de 0,05m [ACIGH, 1992:3].

La cantidad de soportes será de acuerdo al dimensionamiento final del sistema de extracción y de la zona de montaje.

Material de fabricación:

El material a emplear en la fabricación de los ductos, campana, accesorios y uniones debe de garantizar la resistencia a todas las situaciones adversas que se presenten

durante el funcionamiento del sistema. En lo posible el material debe de ser uniforme para todo el sistema, evitando así la formación de un par galvánico⁸.

Aberturas de acceso para limpieza:

Un requisito para garantizar que la muestra no se contamine por otros agentes, es la condición de limpieza interna de los ductos de gases antes de cada ensayo. Para tal fin se deberá incluir en el sistema una cantidad de compuertas (algunos tipos se muestran en la figura 1.4), las cuales permitirán realizar una limpieza de manera correcta en todo el interior de los ductos que corresponden a la zona de medición.

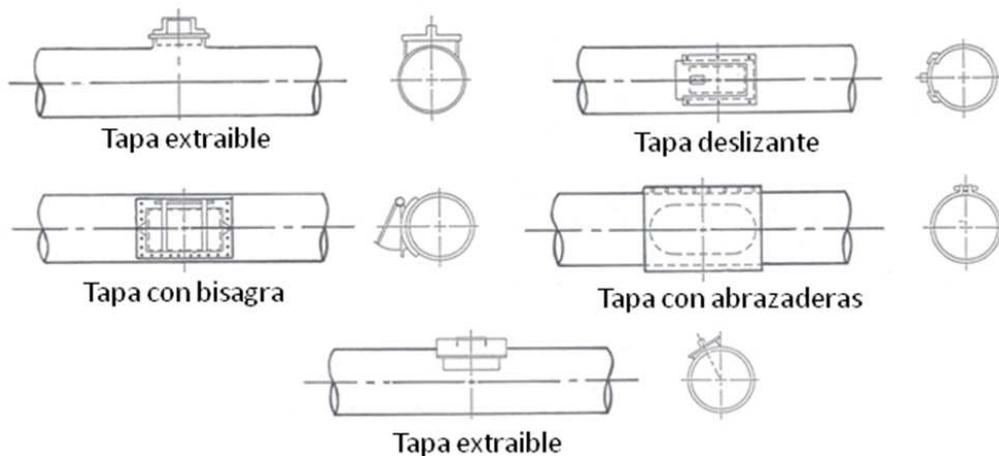


Figura 1.4: Tipos de aberturas para realizar la limpieza interior a los ductos. [ACGIH 1992: 4]

En la tabla 1.9 se presenta el resumen de las condiciones para el diseño del sistema de extracción

Tabla 1.9: Consideraciones para el diseño del sistema del extracción de gases.

Consideraciones	Recomendación:
Espacio.	Largo: 6m Ancho: 2,5m Altura: 6m
Altura de edificios.	Máxima: 11m Mínima: 2,7m
Sección transversal de la campana de extracción	Circular

⁸ Se origina por la unión de dos materiales distintos (cátodo – ánodo) en donde el traspaso de electrones origina una corrosión.

Continuación de la tabla 1.9	
Consideraciones	Recomendación:
Diámetro mínimo de la campana de extracción	0,30m
Temperatura máxima en el punto de medición	120°C
Velocidad de captura de muestras	220m/s
Pérdida de presión en la entrada a la campana de extracción	1,25Pa
Sección transversal de los ductos.	Circular
Velocidad de captura en la campana de extracción.	0,5m/s – 1,0m/s
Ángulo de unión de la campana.	60° - 90°
Acceso para limpieza interna.	Debe tener

Finalmente con las consideraciones expuestas en la tabla 1.9, en la figura 1.5 se muestra el esquema del sistema de extracción a diseñar.

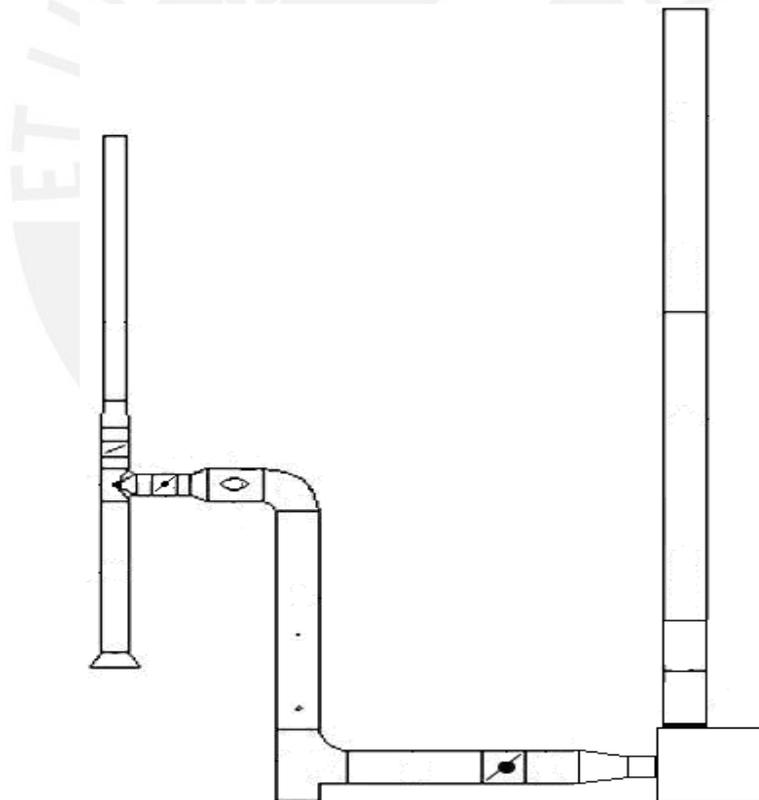


Figura 1.5: Esquema y divisiones del sistema de extracción a diseñar.

REFERENCIAS CAPÍTULO 1

- [ACCINELLI 2004:1] Efecto de los Combustibles de biomasa en el aparato respiratorio: Impacto del campo a cocinas con diseño mejorado / Roberto Accinelli, Cecilia Yshii, Eduardo Córdova, Marita Sánchez Sierra, Cecilia Pantoja, Jessica Carbajal. // Revista de la Sociedad Peruana de Neumología. Vol48, N2 (Mayo-Diciembre 2004). P138
- [ACGIH 1992:1] Ventilación Industrial Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales. Valencia: Artes Gráficas Soler,S.A., 1992. p.3-6.
- [ACGIH 1992:2] Ibid.p.3-18
- [ACGIH 1992:3] Ibid.p.8-4
- [ACGIH 1992:4] Ibid.p.8-9
- [BURSCHEL 2003:1] BURSCHEL, HEINRICH; HERNÁNDEZ, ANGÉLICA; LOBOS, MURICIO. Leña Una fuente energética renovable para Chile. Santiago: Editorial Universitaria. 2003. p69.
- [EPA-5G: 1] ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY. Método 5G. Estados Unidos de Norte América. p.523
- [EPA-5G: 2] Ibid. p519; p520.
- [EPA-5G: 3] Ibid.p522.
- [EN LÍNEA 1] <http://www.hvacolutionsdirect.com/image.php?type=T&id=306>. Diciembre 2010
- [EN LÍNEA 2] <http://product-image.tradeindia.com/00157133/b/0/Volume-Control-Dampers.jpg>. Diciembre 2010
- [GREENFACTS 2009:1] Greenfacts. Facts on Health and the Environment. <<http://www.greenfacts.org/es/glosario/def/exposicion-cronica.htm>>. Octubre 2010
- [GREENFACTS 2009:2] Greenfacts. Facts on Health and the Environment. <http://www.greenfacts.org/es/glosario/def/exposicion-aguda.htm>. Octubre 2010

- [INEI 2008:1] Censos Nacionales 2007: IX de Población y VI de Vivienda. Jesús María: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2008. p13
- [INEI 2008:2] Ibid.p222
- [MINEM 2008:1] CÁCERES CASAVERDE, Carlos; GARCÍA BUSTAMENTE, Henry; TARDILLO HIDALGO, Guillermo: 14 Glosario de Términos. En: Balance Nacional de Energía 2006. San Borja: Ministerio de Energía y Minas, 2007. p17
- [MINEN 2008:2] Ibid. p17
- [MINEN 2008:3] Ibid. p193
- [MINEN 2008:4] Ibid. p196.
- [MINEN 2008:5] Ibid. p193.
- [MINEN 2008:6] Ibid. p199.
- [STILL 2005:1] STILL, Dean: Aprendiendo de las estufas para cocinar. En: El Diseño de Estufas Mejoradas para Calefacción. Oregon: Centro de Investigación Aprovecho y la Fundación Shell. Sin página. [En línea]. Disponible en: http://www.repp.org/discussiongroups/resources/stoves/ethos/2005pdf/still_paper.pdf. Octubre 2008

CAPITULO II

SISTEMAS DE VENTILACIÓN: UNIDADES DE EXTRACCIÓN Y MECANISMOS DE CONDUCCIÓN

2.1 Sistemas de Ventilación:

Las diferentes actividades que involucran el desempeño de personas deben tener condiciones que cumplan con normas de seguridad ocupacional además de características de acondicionamiento ambiental. Para lo cual dentro de los mecanismos de acondicionamiento se encuentran los sistemas de ventilación que suministran aire no tratado¹ del exterior al interior de un recinto por medios naturales o mecánicos².

2.1.1 Clasificación de los sistemas de ventilación:

Los sistemas de ventilación según la Sociedad Americana y Gubernamental de la Industria Higiénica (ACGIH) son clasificados de dos maneras. En sistemas de impulsión y en sistemas de extracción.

Sistemas de impulsión:

La finalidad de implementar este tipo de sistemas, es el de obtener ambientes agradables, además reemplazar el aire extraído del recinto (sistemas de sustitución).

¹ Aire no tratado: se le determina al aire que no ha sufrido ningún cambio en sus propiedades iniciales, se le considera al aire del medio ambiente.

² Se le considera medios mecánicos, a los sistemas que emplean diferentes tipos de maquinaria.

Sistemas de extracción:

El objetivo de estos sistemas es la extracción de los gases, humos y otros contaminantes presentes en el aire del entorno de trabajo. Considerando la distancia entre la fuente y la entrada a la campana de extracción los sistemas de extracción pueden ser instalados de manera general o localizada.

2.1.2 Tipos de sistema de extracción:

General:

Este sistema se aplica comúnmente al acondicionamiento de un ambiente y/o la eliminación de agentes contaminantes en el mismo. Estos sistemas suelen operar con grandes cantidades de flujo de aire, siendo determinado en función de las dimensiones del ambiente a acondicionar (ver figura 2.1).

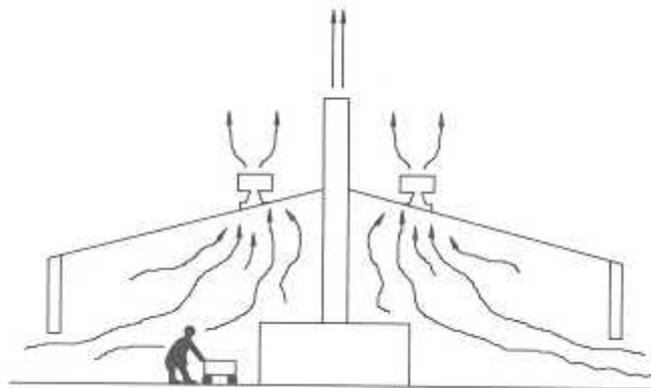


Figura 2.1: Sistema de extracción general natural. [ACGIH 1992: 1]

Localizada:

Los sistemas de extracción localizada se caracterizan por capturar los contaminantes a la menor distancia posible respecto al origen. En este tipo de sistemas se obtiene mayor eficiencia y además emplea caudales menores durante su operación (ver figura 2.2).

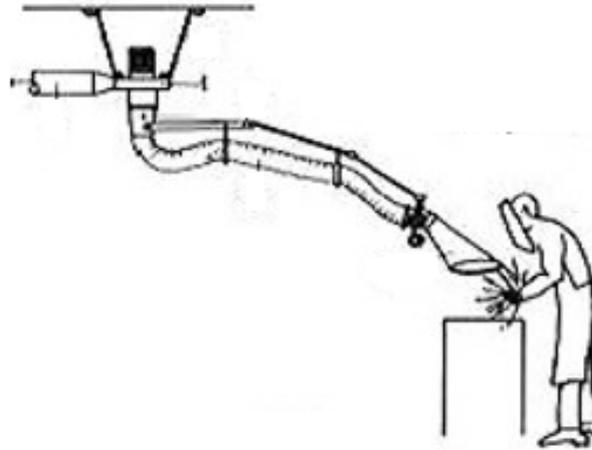


Figura 2.2: Extracción localizada. [EN LÍNEA 1]

Si se trabaja con temperaturas elevadas, la densidad de los gases disminuirá en función al incremento de la temperatura. Tomando en cuenta a la densidad del aire ambiente, los gases de combustión ascenderán sin dificultad con dirección hacia la campana. En las aplicaciones relacionadas con la salud ocupacional es necesario asegurar el correcto direccionamiento de los gases, considerando el sentido predominante del aire en el recorrido del ambiente de trabajo.

2.2 Mecanismos de extracción:

2.2.1 Aspiración:

Un sistema de ventilación se encuentra compuesto de un flujo entrada y salida de gases. El chorro de salida, es aquel flujo que sale con una presión mayor que la del entorno y se forma una mezcla de chorro cónico cuyo ángulo de salida (2θ) mostrado en la figura 2.3 en condiciones normales³ es de unos 30° [BATURIN 1972:1].

³ Condiciones normales se le considera según la EPA cuando la temperatura del medio ambiente es de 0°C y la presión atmosférica es de $101,325\text{ kPa}$.

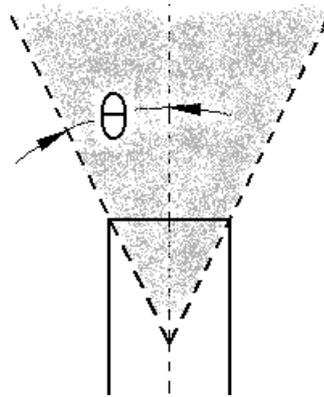


Figura 2.3: Comportamiento de los gases a la salida del sistema. [BATURIN 1972: 2-1]

En el caso que el flujo aspirado por la campana, ingrese desde diferentes zonas (diferentes direcciones) no es posible definir un ángulo de entrada para la velocidad.

Mediante el estudio de sumideros puntuales⁴ y lineales⁵ (figura 2.10) Baturín⁶ logra representar con mayor detenimiento el comportamiento teórico de estos flujos durante su ingreso por la campana de extracción.

2.2.2 Aspiración en aberturas de sección circular – rectangular:

En la figura 2.4 se representa el comportamiento del flujo hacia un orificio de sección circular. Las líneas de velocidad tienen una trayectoria elíptica hacia las zonas más alejadas de la abertura de succión y a una distancia aproximadamente igual al diámetro de la abertura de succión (ϕ_{suc}), las líneas pueden ser definidas como semicírculos.

⁴ Sumidero puntual: “es un punto por donde se extrae el fluido continua y uniformemente” [BATURIN 1972:2-2].

⁵ Sumidero lineal: “es una serie continua de sumideros puntuales adyacentes.” [BATURIN 1972:2-3]

⁶ Baturin, Fundamentos de Ventilación, Moscu, 1965, capítulo 6.

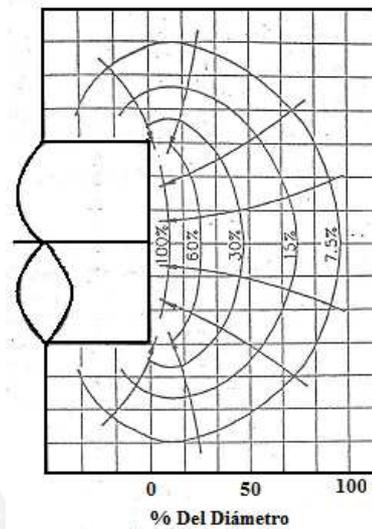


Figura 2.4: Diagrama de velocidades de aspiración para una campana de sección circular. [ACGHI 1992: 2]

Las aberturas de una sección rectangular, poseen una tendencia similar a las de secciones circulares tal como lo muestra la figura 2.5.

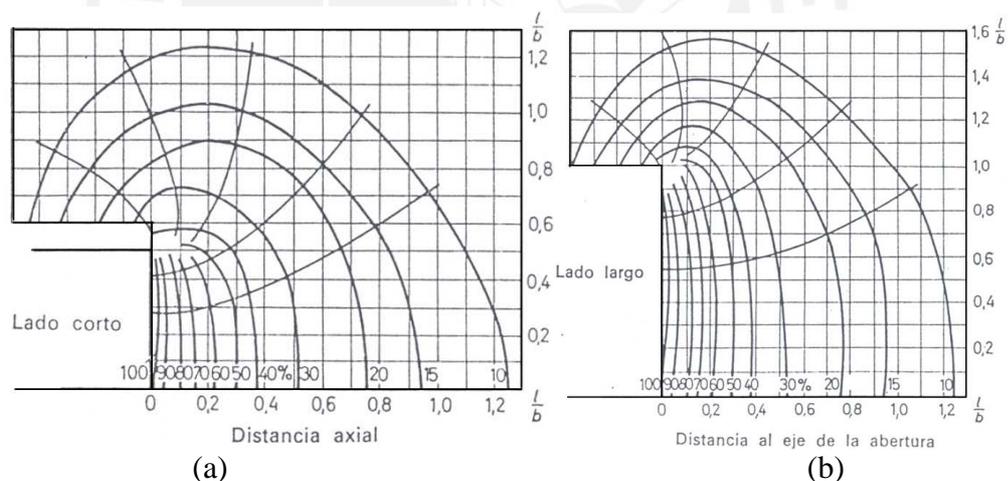


Figura 2.5: Diagrama de velocidades de aspiración para una campana de sección rectangular con relación de lados 1:2. (a) Lado corto. b) Lado largo. [BATURIN 1972: 3]

2.3 Unidades de Extracción:

La unidad de extracción es el elemento más importante de cualquier sistema de extracción localizada [BATURIN 1972:4] y es el encargado de garantizar la captura total de impurezas emitidas desde la fuente.

2.3.1 Tipos de campanas [ACGIH 1992: 3]

Las campanas se clasifican en tipo cabina y campanas abiertas.

Cabinas:

Las cabinas son las que encierran de forma parcial o total al proceso, siendo el uso de este tipo recomendado cuando, la configuración y el funcionamiento del proceso lo permita.

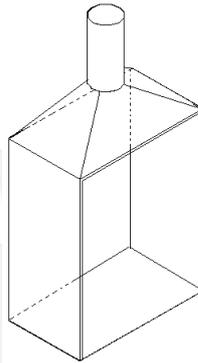


Figura 2.7. Cabinas de forma total. [ACGIH 1992: 4]

Campanas abiertas:

Las cabinas abiertas se ubican adyacentes al foco contaminante, pero no logran encerrarlo totalmente. Para que este tipo de campana funcione correctamente, el caudal del aire aspirado deberá ser mayor que los gases emitidos de lo contrario los gases contaminantes en esta mezcla no podrán ser capturados provocando la contaminación del ambiente (figura 2.8 b).

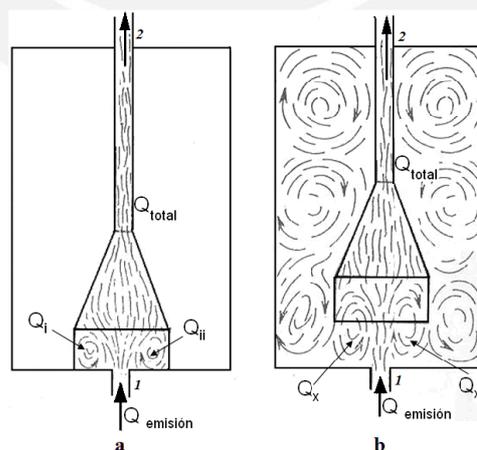


Figura 2.8: Cantidad de aire aspirado (a) correcto, (b) incorrecto. [BATURIN 1972: 5-1]

Para obtener una aspiración óptima (figura 2.8 a) se debe cumplir la relación 2.1 [BATURIN 1972: 5-2].

$$\dot{V}_{emisión} < \dot{V}_i + \dot{V}_{ii} \dots\dots\dots(2.1)$$

Donde:

$\dot{V}_{emisión}$: Caudal de emisión de la fuente [m³/s].

\dot{V}_i : Caudal de ingreso en el punto i [m³/s].

\dot{V}_{ii} : Caudal de ingreso en el punto ii [m³/s].

2.3.2 Parámetros de diseño de la campana

2.3.2.1 Sección de la campana:

Las secciones transversales frecuentemente empleadas en el diseño de las campanas de extracción, son circulares o rectangulares. Así mismo la altura de la campana deberá de ser tan larga como sea posible y la unión entre la campana y el ducto debe tener un ángulo de abertura entre 60° a 90° [ACGIH 1992: 5].

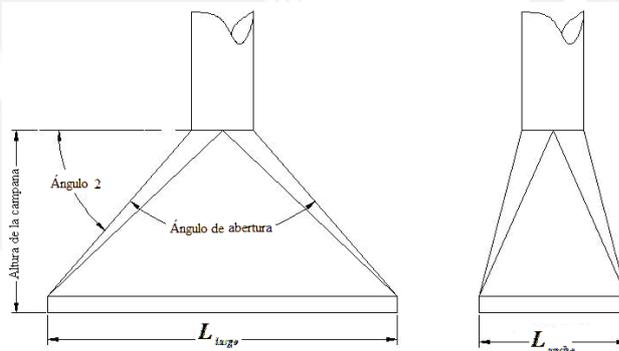


Figura 2.9: Geometría de la campana de sección rectangular. [ACGIH 1992: 6]

Área de sección rectangular:

$$A_{secc\ campana} = L_{largo} \times L_{ancho} \dots\dots\dots(2.2)$$

Donde:

$A_{secc\ campana}$: Área de la sección de la campana [m²].

L_{largo} : Largo de la campana de sección rectangular [m].

L_{ancho} : Espesor de la campana de sección rectangular [m].

Área de sección circular:

$$A_{\text{secc campana}} = \frac{\pi \times \phi_{\text{campana}}^2}{4} \dots\dots\dots(2.3)$$

Donde:

$A_{\text{secc campana}}$: Área de la sección de la campana [m²].

ϕ_{campana} : Diámetro de la campana de extracción. [m]

2.3.2.2 Velocidad de captura:

Esta velocidad es función de la forma de la campana y del caudal aspirado. A su vez debe garantizar la captura eficaz de los agentes contaminantes. De acuerdo con la Asociación Americana Gubernamental de Higiene Industrial (ACGIH) en la tabla 2.1 se muestran las velocidades de captura recomendadas.

Tabla 2.1: Velocidades de captura recomendadas según la fuente de emisión.

Fuentes de Generación	V_{cp} [m/s]
Liberado sin velocidad \approx aire tranquilo	0,25 – 0,5
Liberado baja velocidad \approx aire moderadamente quieto.	0,5 – 1
Generación activa	1 – 2,5
Liberado con alta velocidad	2,5 – 10

Fuente: [ACGIH 1992: 7]

2.3.2.3 Determinación del caudal [ACGIH 1992: 8-1]

Para determinar el caudal aspirado por la campana, Baturin propuso considerar el comportamiento de este elemento como el de un sumidero puntual.

Con este supuesto la determinación del flujo volumétrico aspirado será determinado entre el área de la esfera (de radio X – figura 2.10) con centro en el punto de entrada de los gases y por la velocidad en la superficie de esta esfera (velocidad de captura).

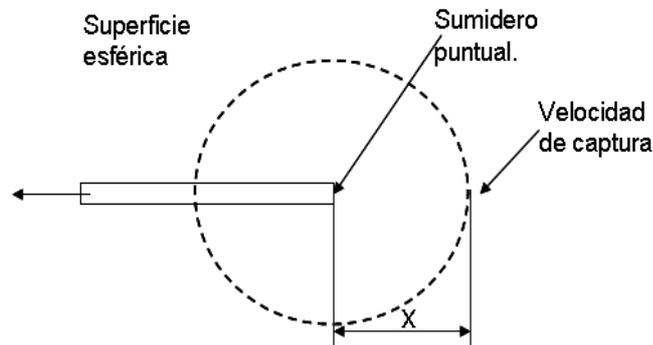


Figura 2.10: Sumidero puntual, superficies esférica con igual velocidad. [ACGIH 1992: 8-2]

La ecuación para el caudal de aspiración corresponde a:

$$\dot{V}_{\text{aspiración}} = V_{cp} \times A_{\text{esfera}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Donde:

- $\dot{V}_{\text{aspiración}}$: Caudal de aspiración [m³/s]
- V_{cp} : Velocidad de captura [m/s]
- A_{esfera} : Área de la esfera [m²]

Donde el área de la esfera es:

$$A_{\text{esfera}} = 4\pi \times r_{\text{es}}^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Donde

- A_{esfera} : Área de la esfera [m²]
- r_{es} : Radio de la esfera ó distancia de la fuente al punto de succión [m]

Del mismo modo, para un sumidero lineal:

$$\dot{V}_{\text{aspiración}} = V_{cp} \times A_{\text{cilindro}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Donde:

- $\dot{V}_{\text{aspirado}}$: Flujo volumétrico aspirado [m³/s]
- V_{cp} : Velocidad de captura [m/s]
- A_{cilindro} : Área del cilindro [m²].

El área del cilindro corresponde a:

$$A_{\text{cilindro}} = 2\pi \times r_{\text{es}} \times L \dots\dots\dots(2.7)$$

Donde

- A_{cilindro} : Área del cilindro [m²]
- r_{es} : Radio de la esfera ó distancia de la fuente al punto de succión [m].
- L : Longitud del cilindro ó longitud del sumidero lineal[m].

Si bien es cierto, las campanas a nivel general, no tienen un comportamiento similar con los sumideros puntuales y/o lineales, la aproximación que realiza Dalla Valle [ACGIH 1992: 8-3] para determinar el caudal aspirado por las campanas es válida para distancias menores a 1,5 veces el diámetro de la campana de extracción [ACGIH 1992: 8-4] tanto para las de sección circular como para su equivalente de sección rectangular. Si se excede de esta longitud, el caudal de aspiración se incrementaría en menor medida que la indicada en la ecuación 2.8.

$$\dot{V}_{\text{aspiración}} = V_{cp} \times (10 \times H^2 + A_{\text{campana}}) \dots\dots\dots(2.8)$$

Donde:

- $\dot{V}_{\text{aspiración}}$: Caudal de aspiración [m³/s]
- V_{cp} : Velocidad de captura [m/s]
- $A_{\text{secc campana}}$: Área de la sección de la campana [m²]
- H : Distancia entre la salida de la fuente y la entrada a la campana de extracción. [m]

Determinación del caudal para focos calientes:

Debido a que los gases extraídos proceden de una combustión (foco caliente), la determinación del caudal de aspiración se determinará en función del área de la sección de la campana ($A_{\text{secc campana}}$) y de la distancia desde la fuente a la abertura de succión. Estas consideraciones se deben a las corrientes de aire ascendentes generadas por la

diferencia de densidad causada por la diferencia de temperaturas, pudiendo alcanzar velocidades hasta los 2 m/s [ACGIH 1992: 9-1].

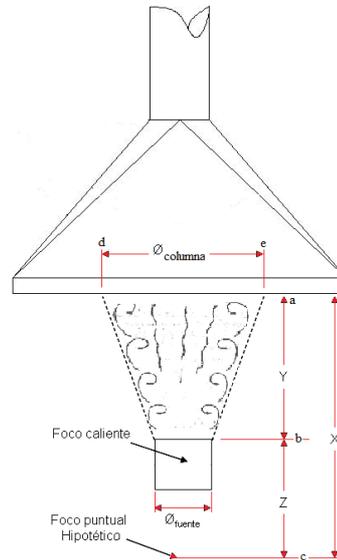


Figura 2.11: Nomenclatura referida al diseño de campanas para fluidos de alta temperatura. [ACGIH 1992: 9-2]

Para campanas ubicadas a distancias menores a 1 m [ACGIH 1992: 10-1] se consideran como de baja altura y el flujo volumétrico aspirado viene determinado según la ecuación 2.9 [ACGIH 1992: 10-2]:

$$\dot{V}_{\text{aspiración}} = 0,04516 \times \phi_{\text{campana}}^{2,33} (T_{\text{gases}} - T_{\text{amb}})^{0,42} \dots\dots\dots(2.9)$$

Donde:

- $\dot{V}_{\text{aspiración}}$: Caudal de aspiración [m³/s].
- ϕ_{campana} : Diámetro de la campana de sección circular. [m]
- T_{gases} : Temperatura de los gases de combustión [°C]
- T_{amb} : Temperatura ambiente. [°C]

Efecto de pestañas y deflectores:

Las pestañas en las campanas son superficies extendidas en los bordes que sobresalen hacia el exterior. Su efecto en el caudal de aspiración, es de impedir que corrientes de aire provenientes de ciertas direcciones situadas enfrente o lateralmente de la campana

ingresen. En la práctica el uso de las pestañas disminuye la cantidad del flujo en un 25% [ACGIH 1992:11-1].

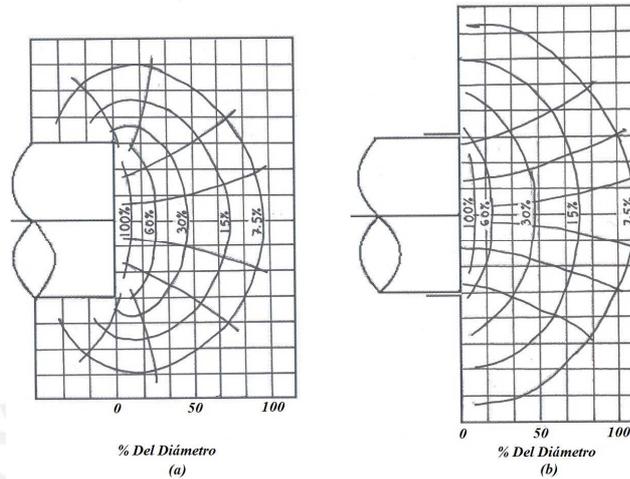


Figura 2.12: Diagrama de velocidades en la entrada de la campana: (a) sin pestaña, (b) con pestaña. [ACGIH 1992: 11-2]

Para determinar el ancho de las pestañas en forma práctica se emplea la siguiente expresión [ACGIH 1992:11-3]:

$$L_{pestaña} = \sqrt{A_{secc\ campana}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Donde:

- $L_{pestaña}$: Longitud de la pestaña de la campana de extracción [m]
- $A_{secc\ campana}$: Área de la sección de la campana [m²]

2.3.2.4 Caída de presión en las unidades de extracción:

La caída de presión en unidades de extracción se calculará de acuerdo con la ecuación 2.11 [ASHRAE 2001: 1]:

$$\Delta P_{acc} = \frac{C \times \rho \times V_d^2}{2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Donde:

- ΔP_{acc} : Pérdida de presión en el accesorio [Pa]
- C : Coeficiente de pérdidas para accesorios.
- ρ : Densidad del fluido interno. [kg/m³]

V_d : Velocidad del fluido en el ducto. [m/s]

2.4 Mecanismos de Conducción:

Para el diseño de los ductos se considera principalmente la sección transversal, el material de fabricación, los métodos recomendados para su diseño, el direccionamiento del flujo y las diversas correcciones a efectuar por temperatura, humedad, velocidad, material y altura según sea el caso.

2.4.1 Sección transversal de los conductos:

En la fabricación de ductos comúnmente se emplean las secciones circular y rectangular – cuadrado, siendo la elección de la sección transversal dependiente de las condiciones de diseño. En la tabla 2.2 se indican las variables a tomar en cuenta.

Tabla 2.2. Tabla de características de trabajo de las secciones de los ductos.

Característica	Sección	
	Circular	Cuadrado Rectangular
Resistencia al colapso.	Muy buena	Regular
Mejores condiciones de transporte del fluido.	Muy buena	Regular
Uso de material en su fabricación.	Poco	Considerable
Facilidad de fabricación.	Fácil	Compleja
Adaptación según espacio de instalación	Regular	Muy buena

Fuente: [EPA 1]

2.4.2 Material usado para conductos de ventilación.

Los materiales que se emplea en la fabricación de los conductos según su porcentaje de elongación pueden definirse como materiales rígidos y no rígidos.

Material rígido:

El material rígido presenta el menor porcentaje de elongación. Estos materiales son del tipo metálico, siendo el acero galvanizado (chapa) y acero inoxidable los más empleados para la fabricación de los conductos, accesorios y campanas de extracción en los sistemas de ventilación.

Material no rígido:

Se le denomina así debido a su alto porcentaje de elongación. Los más comunes en los sistemas de ventilación son el polipropileno, polietileno lineal y cloruro de polivinilo y son los más usados para los sistemas de ventilación.

2.5 Pérdidas, factores de corrección y métodos de diseño en los mecanismos de conducción:

Los métodos que se emplean para diseñar los sistemas de extracción localizada se basan en la pérdida de la presión. Para determinar estas pérdidas, la ACGIH emplea los métodos de presión dinámica y el de longitud equivalente, así mismo la Asociación Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) recomienda el uso de las ecuaciones de Darcy y el coeficiente de Colebrook para determinar la pérdida de presión del fluido en el interior de un ducto.

2.5.1 Método de cálculo de la presión dinámica [ACGIH 1992:12]

Este procedimiento considera que todas las pérdidas son directamente proporcionales a la presión dinámica. Este método es de mayor rapidez ya que ofrece ventajas para el diseño y rediseño en las dimensiones de los ductos.

El procedimiento involucrado en este método consiste en lo siguiente:

- a) Cálculo de la velocidad real en el ducto de ventilación:

$$V_r = \frac{\dot{V}_{\text{aspiración}}}{A_{\text{com}}} \dots\dots\dots (2.12)$$

Donde:

V_r : Velocidad promedio real del ducto [m/s].

$\dot{V}_{\text{aspiración}}$: Caudal de aspiración [m^3/s].

A_{com} : Área de ducto con diámetro comercial [m^2].

- b) Cálculo de la presión dinámica [ACGIH 1992: 13]:

$$PD_d = \left(\frac{V_r}{4,043} \right)^2 \dots\dots\dots(2.13)$$

Donde:

- PD_d : Presión dinámica [mmcda].
 V_r : Velocidad promedio real del ducto [m/s].
 4,043 : Factor de conversión.

- c) Cálculo de la pérdida total de ingreso.
 d) Determinar mediante cálculo las pérdidas totales en el ducto, para lo cual se emplea la presión dinámica y el factor de pérdidas.

$$\Delta P_{ducto} = F_{pd} \times L_{ducto} \dots\dots\dots(2.14)$$

Donde:

- ΔP_{ducto} : Pérdida de presiones en el ducto [mmcda].
 F_{pd} : Factor de pérdida de presión en el ducto [mmcda/m].
 L_{ducto} : Longitud del ducto [m].

- e) Establecer el número adecuado de accesorios y calcular las pérdidas de todos estos según sea el tipo de accesorio.

$$\Delta P_{acc} = F_{acc} \times PD_d \dots\dots\dots(2.15)$$

Donde:

- ΔP_{acc} : Pérdida de presión en los accesorios [mmcda].
 F_{acc} : Factor de pérdida de presión para accesorios.
 PD_d : Presión dinámica [mmcda].

- f) La sumatoria de todas las pérdidas determinarán la energía necesaria en términos de presión estática. Esta energía será la suficiente para hacer circular los gases a través del tramo.

2.5.2 Método de cálculo de la longitud equivalente [ACGIH 1992: 14]

A diferencia del primer método, al momento de realizar los cálculos de pérdidas en los accesorios, se emplea una longitud de un ducto recto equivalente según sea la característica de cada uno de estos.

2.5.3 Procedimiento propuesto por la Asociación Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado – ASHRAE para el diseño de ductos:

El procedimiento recomendado por el ASHRAE emplea la ecuación de Darcy y el coeficiente de Colebrook para determinar la caída de presión de los ductos y accesorios en el diseño de conductos.

La ecuación de Darcy para ductos se define de la siguiente manera [ASHRAE 2001:2]:

$$\Delta P_f = \frac{f \times L \times \rho \times V_d^2}{2 \times D_h} \dots\dots\dots(2.16)$$

Donde:

- ΔP_f : Diferencia de presión en la tubería [Pa]
- f : Coeficiente de rozamiento.
- L : Longitud del ducto. [m]
- ρ : Densidad del fluido interno. [kg/m³]
- V_d : Velocidad del fluido en el ducto. [m/s]
- D_h : Diámetro interno del ducto. [m]

La caída de presión para los accesorios se define de la siguiente manera [ASHRAE 2001:3]:

$$\Delta P_{acc} = \frac{C \times \rho \times V_d^2}{2} \dots\dots\dots(2.17)$$

Donde:

- ΔP_{acc} : Diferencia de presión en el accesorio [Pa]

- C : Coeficiente de pérdidas para accesorios.
- ρ : Densidad del fluido interno. [kg/m³]
- V_d : Velocidad del fluido en el ducto. [m/s]

El coeficiente de rugosidad necesario en la ecuación de Darcy para ductos (ver ecuación 2.16) se obtiene de la ecuación de Colebrook [ASHRAE 2001:4].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7D_h} + \frac{2,51}{\text{Re}\sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots(2.18)$$

Donde:

- f : Coeficiente de rozamiento.
- ϵ : Rugosidad absoluta del material del ducto [m]
- Re : Número de Reynolds.
- D_h : Diámetro interno del ducto. [m]

2.5.4 Corrección por temperatura, altitud y humedad [ACGIH 1992: 15]

Cuando la temperatura ambiental está en el rango de [0 – 50] °C y la altura (posición geológica) este en el rango de [-250 – 250] m, las correcciones que se deben realizar para compensar el cambio en la densidad del aire son raramente empleadas.

Sin embargo cuando la temperatura alcanzan medidas superiores a los 50 °C, la variación de la densidad del caudal aspirado por el ventilador – extractor influyen directamente en la determinación del flujo másico de estos gases, por lo que es necesario corregir la densidad del fluido para determinar el nuevo caudal aspirado.

Según la ACIGH, si la humedad absoluta del fluido es superior al valor de 0,02 kg vapor/kg aire seco, es necesario corregir la densidad para la condición dada.

2.6 Velocidad y direccionamiento del flujo en los sistemas de extracción:

2.6.1 Velocidad en los ductos:

Al extraer gases, polvos, humos y otros tipos de flujos, se debe de garantizar que las partículas en suspensión no se depositen dentro de los ductos durante su recorrido por tal condición la velocidad de diseño deberá cumplir con los valores de la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Velocidades de diseño recomendadas para conductos.

Naturaleza del contaminante	V _{diseño} (m/s)
Vapores, gases, humos de combustión (económica)	5 – 10
Humos de soldadura, polvos muy finos, ligero y secos	10 - 15
Polvo ordinario	17,5 – 20
Polvos pesados	20 – 22,5
Polvo pesado húmedo	> 22,5

Fuente: [ACGIH 1992: 16]

2.6.2 Direccionamiento del flujo [ACGIH 1992: 17]

Para realizar el correcto direccionamiento y circulación de los gases dentro del sistema, se emplea generalmente el método de balance de presión estática y el método de regulación por compuerta.

Balance de Presión Estática:

Este método se basa en el equilibrio que logra el mismo sistema de extracción y consiste en lograr una adecuada distribución de los caudales sin la necesidad de reguladores del mismo. El cálculo empieza desde el punto más alejado llegando finalmente al ventilador o eyector (según sea el caso), y en cada punto de unión de dos corrientes la presión de cada corriente debe ser igual a la presión estática en la unión del ducto principal siendo esta condición predominante para cada sistema de ventilación. Caso contrario, cuando el sistema no se encuentra balanceado el flujo no logra ser el deseado en la campana de extracción.

Cuando se cumple la relación 2.19 se deberá de realizar un nuevo diseño en base a la presión menor obtenida.

$$\frac{PE_{menor}}{PE_{mayor}} < 0,8 \dots\dots\dots(2.19)$$

Donde:

PE_{menor} : Presión estática menor. [mmcda]

PE_{mayor} : Presión estática mayor. [mmcda]

En la unión de los ductos, cuando las presiones son diferentes se logra el equilibrio mediante el incremento del caudal para el ducto de menor resistencia.

$$\dot{V}_{corregido} = \dot{V}_{diseño} \times \sqrt{\frac{PE_{unión}}{PE_{tramo}}} \dots\dots\dots (2.20)$$

Donde:

$\dot{V}_{corregido}$: Caudal corregido. [m³/s]

$\dot{V}_{diseño}$: Caudal de diseño. [m³/s]

$PE_{unión}$: Presión estática en la unión. [mmcda]

PE_{tramo} : Presión estática en el tramo. [mmcda]

Regulación mediante compuertas:

La regulación del caudal mediante compuertas, es el segundo método que se emplea para lograr el flujo deseado en cada campana de extracción.

Para este método no es necesario rediseñar los ductos pues las compuertas se ajustan durante la puesta en marcha del sistema. Esta variación puede ocasionar en algunos casos un incremento de la presión estática y por lo tanto el aumento del consumo de energía.

2.7 Expulsión de los gases para un sistema de extracción:

La salida de los gases, humos y vapores de un sistema de extracción, puede ser de forma artificial o natural. Según el tipo de salida, se determina los mecanismos y equipos necesarios para su adecuada evacuación.

2.7.1 Dimensionamiento de chimenea:

El cálculo inicial de la longitud de la chimenea propuesto por Vatavuk, sólo considera los aspectos estructurales de las edificaciones cercanas a esta, siendo representada mediante la siguiente ecuación [VATAVUK 2000:1]:

$$H_{ze} = H_B + 1,5H_b \dots\dots\dots(2.21)$$

Donde:

- H_{ze} : Altura total del ducto de salida de los gases. [m]
- H_B : Altura de la edificación con mayor altura más cercana (ver tabla 1.5). [m]
- H_b : Altura del edificio con menor altura más cercana (ver tabla 1.5). [m]

Sin embargo es necesario considerar los factores ambientes, por lo cual para determinar la altura efectiva de la chimenea será necesario considerar ambos factores. La unión de estos mismos están representados en la ecuación 2.22.

$$H_{ef} = H_{ze} + h_{humo} \dots\dots\dots(2.22)$$

Donde:

- H_{ef} : Altura efectiva de la chimenea. [m]
- H_{ze} : Altura total del ducto de salida de los gases. [m]
- h_{humo} : Altura de la columna de humo. [m]

Siendo definida la altura de humo por la expresión 2.23 (Davidson – Bryant) [SANTANA 1].

$$h_{humo} = \phi_{ze} \times \left(\frac{V_{sg}}{V_v}\right)^{1,4} \times \left(1 + \frac{T_{sg} - T_{amb}}{T_{amb}}\right) \dots\dots\dots(2.23)$$

Donde:

- h_{humo} : Altura de la columna de humo. [m]
- ϕ_{ze} : Diámetro de la zona de estabilización. [m]

V_{sg}	: Velocidad de la salida de gases. [m/s]
V_v	: Velocidad del viento. [m/s]
T_{sg}	: Temperatura de los gases a la salida del ducto. [°C]
T_{amb}	: Temperatura ambiente. [°C]

2.7.2 Clases de salida de los gases de un sistema de extracción:

Tiro natural [SANTANA 2]:

El sistema de extracción con tiro natural se realiza por la diferencia de densidades entre gases. No se necesita de un accesorio adicional aparte de los ductos y campanas de extracción.

Tiro inducido:

Se realiza mediante un aumento de presión para compensar las caídas de presión en la instalación. Para ello se emplea inyectores y ventiladores para lograr el aumento de presión.

2.8 Ventiladores – inyectores:

Los ventiladores más usados son los axiales y los centrífugos. Estos ventiladores también son empleados como inyectores, siendo la diferencia entre estos casos el método de cálculo para su selección.

2.8.1 Ventiladores:

Ventiladores axiales:

Dichas unidades se emplea cuando el flujo es considerable y cuando las presiones a vencer son relativamente bajas⁷. Los tipos básicos son los helicoidales y los tubulares.

El uso de cada uno de estos dependerá de la presión (tabla 2.6) a vencer en el sistema de ventilación. La tabla 2.6 muestra las presiones máximas por ventilador

⁷ Se les considera baja cuando la presión es inferior a 200 mmca [SALVA 1]

Tabla 2.6: Presiones máximas a vencer según tipo de ventilador.

Ventilador axial	Presión (mmcda)
Helicoidales.	25
Tubulares.	50

Fuente: [SALVA 2]

Ventiladores centrífugos:

Comparando con los ventiladores axiales, se emplea cuando los flujos de gases son menores y las presiones a vencer son superiores.

Para estos ventiladores, la capacidad está determinada según sea el tipo de rodete (figura 2.15) a utilizar.

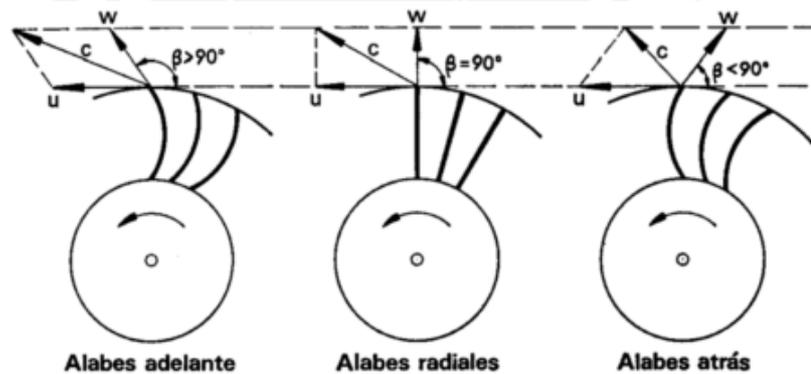


Figura 2.15: Tipos de álabes para ventiladores centrífugos. [SALVA 3]

2.8.2 Selección de ventiladores

Para realizar la selección de un ventilador se requiere conocer el caudal, la presión total a vencer, material a emplear para el rodete, tipo de flujo a transportar, eficiencia del ventilador – motor.

Los valores recomendados para la eficiencia del ventilador y del motor, vienen determinadas por las siguientes relaciones [VATAVUK 2000: 2]:

$$n_{\text{ventilador}} \in [40\% - 70\%] \dots\dots\dots(2.24)$$

$$n_{\text{motor}} = 90\% \dots\dots\dots(2.25)$$

2.9 Consideraciones para la construcción de un sistema de extracción:

Soporte del sistema:

Para las uniones, si no se realiza mediante bridas, se recomienda que los puntos de apoyo estén ubicados próximos de cada uno de estos. La distancia entre la unión y el punto de apoyo no debe ser mayor a 0,05 m [ACGIH 1992: 18-1].

Uniones en el sistema:

Las fugas en las uniones no deben ser mayores de 1% del caudal del diseño, así mismo las uniones longitudinales de preferencia deberán ser soldadas. Esta soldadura seguirá los procedimientos de la sociedad americana de soldadura (AWS).

En el caso de trabajar con ventiladores, la unión del mismo al sistema de extracción, debe disponerse en un tramo recto (relación 2.26) [ACGIH 1992: 18-2].

$$L_{\text{ventilador}} \geq 6 \times \phi_{\text{ducto}} \dots\dots\dots(2.26)$$

Donde:

- $L_{\text{ventilador}}$: Longitud de tramo recto antes del ventilador. [m]
 ϕ_{ducto} : Diámetro del ducto de ventilación. [m]

2.10 Accesorios en el sistema:

Dentro del sistema de conducción el uso de accesorios se justifica debido a que estos cumplen funciones determinadas, lo que permite que el sistema trabaje de manera óptima.

Las funciones principales de los accesorios son los siguientes:

- Cambio de dirección de la corriente del fluido.
- Modificar la velocidad del gas.
- Unión – acople de los tramos de los ductos.
- Permitir el cambio debido a la contracción – dilatación según sea el caso.
- Facilitar la unión de los componentes.

- La geometría y fabricación de los codos de 90°, esta en proporción al diámetro del ducto. La tabla 2.5 muestra las recomendaciones para su construcción.

Tabla 2.5: Consideraciones en la fabricación de los codos de 90°.

ϕ_{ducto}	Recomendación
$\phi_{ducto} < 0,150m$	Construirse con 5 piezas
$\phi_{ducto} > 0,150m$	Construirse con 7 piezas

Fuente: °. [ACGIH 1992: 18-3]

2.11 Espesores de los ductos y accesorios[ACGIH 1992: 18-4]:

El espesor de la campana, codos y otros accesorios se determina según se indica en la ecuación 2.28, debiendo ser superior respecto al espesor del ducto. Este incremento se realizará según se indica en la relación 2.27.

$$E_{adicional} \in [0,5 - 1] mm \dots\dots\dots(2.27)$$

$$E_{accesorio} = E_{ducto} + E_{adicional} \dots\dots\dots(2.28)$$

Donde:

$E_{accesorio}$: Espesor de accesorio. [mm]

E_{ducto} : Espesor del ducto. [mm]

$E_{adicional}$: Espesor adicional. [mm]

Finalmente según lo expuesto en el presente capítulo para el diseño del sistema de extracción además de las consideraciones de la tabla 1.9 se tendrá en cuenta lo expuesto en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Consideraciones adicionales para el diseño del sistema de extracción.

Zona	Parte	Consideraciones
Inicial	Unidad de captura	Mecanismo de extracción: Localizada. Unidad de extracción: Campana abierta. Sección transversal: Circular. Caudal de aspiración inicial: Para focos calientes. Comprobación: Ecuación de Dalla Valle
	Ducto	Sección transversal: Circular. Cálculo de caída de presión: ASHRAE Direccionamiento del flujo de gases: Compuerta tipo dámper.

Continuación de la tabla 2.6		
Zona	Parte	Consideraciones
Estabilización	Ducto	Sección transversal: Circular. Salida de gases: Tiro natural Dimensionamiento de salida de gases: Propuesto en la parte 2.7.1
Medición	Ducto	Sección transversa: Circular. Salida de gases: Tiro inducido-ventilador centrífugo Dimensionamiento de salida de gases: Propuesto en la parte 2.7.1 Regulación de la velocidad: Damper.



REFERENCIAS CAPÍTULO 2

- [ACGIH 1992: 1] Ventilación Industrial Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales. Valencia: Artes Gráficas Soler,S.A., 1992. p.2-15.
- [ACGIH 1992: 2] Ibid. p.3-8
- [ACGIH 1992: 3] Ibid. p.3-2
- [ACGIH 1992: 4] Ibid. p.3-12
- [ACGIH 1992: 5] Ibid. p.3-15
- [ACGIH 1992: 6] Ibid. p.3-13
- [ACGIH 1992: 7] Ibid. p.3-6
- [ACGIH 1992: 8] Ibid. p.3-7
- [ACGIH 1992: 9] Ibid. p.3-20
- [ACGIH 1992: 10] Ibid. p.3-21
- [ACGIH 1992: 11] Ibid. p.3-8
- [ACGIH 1992: 12] Ibid. p.5-2
- [ACGIH 1992: 13] Ibid. p.1-6
- [ACGIH 1992: 14] Ibid. p.5-3
- [ACGIH 1992: 15] Ibid. p.5-23
- [ACGIH 1992: 16] Ibid. p.3-18
- [ACGIH 1992: 17] Ibid. p.8-12
- [ACGIH 1992: 18] Ibid. p.8-4
- [ASHRAE 2001:1] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Fundamentals 2001. Atlanta, 200. p.35.9
- [ASHRAE 2001:2] Ibid. p.35.6
- [ASHRAE 2001:3] Ibid. p.35.9
- [ASHRAE 2001:4] Ibid. p.35.7
- [BATURIN 1972: 1] BATURIN, V.V.: Aspiración. En: Fundamentos de ventilación Industrial. España: Ibero-Americanos S.A., 1972. p.199.
- [BATURIN 1972: 2] Ibid. p.204
- [BATURIN 1972: 3] Ibid. p.527

- [BATURIN 1972: 4] Ibid. p.539
- [EPA 1] Campanas, Ductos y Chimeneas. En: Equipo Genérico y Dispositivos. P1-8. Disponible en:
<http://earth1.epa.gov/ttn/catc/dir2/cs2ch1-s.pdf>. Octubre 2008.
- [EN LÍNEA 1] [En línea]. Disponible en:
<http://www.elergonomista.com/soldadura01.JPG>. Octubre 2008.
- [SANTANA 1] SANTANA SANTANA, Domingo. Chimeneas. El tiro y su cálculo. [Presentación]. Madrid, Universidad Carlos III de Madrid. Diapositiva 4. [En línea]. Disponible en:
<http://termica.uc3m.es/alumn/ST/chimeneas.pdf>. Octubre 2008
- [SANTANA 2] Ibid. Diapositiva 4.
- [SALVA 1] [En línea]. Disponible en:
<http://www.mf-ct.upc.es/Salva/Ventiladores.htm>. Octubre 2008
- [SALVA 2] [En línea]. Disponible en:
<http://www.mf-ct.upc.es/Salva/Ventiladores.htm>. Octubre 2008
- [SALVA 3] [En línea]. Disponible en:
<http://www.mf-ct.upc.es/Salva/Ventiladores.htm> . Octubre 2008
- [VATAVUK 2000:1] VATAVUK, William M. (1999). Campanas, Ductos y Chimeneas. En: Equipo Genérico y Dispositivos. p.1-41. [En línea]. Disponible en:
<http://earth1.epa.gov/ttn/catc/dir2/cs2ch1-s.pdf>. Octubre 2008
- [VATAVUK 2000:2] Ibid. p. 1-19.

CAPITULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

La geometría final del sistema de extracción dependerá de los parámetros de diseño dados en el capítulo 1 y de las propiedades termodinámicas del flujo de gases.

El orden a seguir en el diseño será el siguiente:

Establecer el flujo volumétrico de los gases de combustión.

Diseñar la campana de extracción.

Ubicar las compuertas para limpieza interna.

Dimensionar ductos y accesorios.

Calcular pérdidas de presión y seleccionar el ventilador.

Calcular la potencia del motor eléctrico.

Establecer las consideraciones de instalación.

3.1 Flujo volumétrico de los gases de combustión:

La determinación del flujo de gases se realizará mediante una estimación estequiométrica. Este cálculo simulará lo producido en la cámara de combustión de una estufa estática.

El cálculo se iniciará asumiendo las siguientes condiciones:

Tipo de combustión	: Completa ⁽¹⁾
Carburante	: Leña
Flujo de combustible ⁽²⁾	: 4.7 kg/h

¹ Combustión completa: se le denomina así cuando la oxidación del carburante es completa y los productos de ésta reacción química es agua, dióxido de carbono y nitrógeno.

Siendo la ecuación estequiométrica de una reacción química [SHAPIRO 2004: 1]



Los elementos y/o compuestos que forman los reactivos vienen determinados por el carburante y por la cantidad de aire necesario para realizar la reacción química (combustión), siendo el primero definido en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Composición química de la leña

Elemento y/o Compuesto	Nomenclatura	% en Peso
Carbono	C	31
Hidrógeno	H_2	4
Oxígeno	O_2	29
Nitrógeno	N_2	0,1
Ceniza	Ceniza	1
Agua	H_2O	35

Fuente: [DE DIOS 2010:1]⁽³⁾

Así mismo, los productos emitidos en la combustión completa son los siguientes:

Tabla 3.2: Compuestos obtenidos de una combustión completa

Elemento y/o Compuesto	Nomenclatura
Dióxido de carbono	CO_2
Agua	H_2O
Nitrógeno	N_2
Ceniza	Ceniza

Fuente: [SHAPIRO 2004:2]

Finalmente la ecuación 3.1 queda definida según se indica en la tabla 3.3

² Valor obtenido de los catálogos de las estufas comerciales de la empresa Met Mann. Modelo Ottagono F. Página web: www.metmann.com. Octubre 2008.

³ Dr. Juan de Dios Rivera, es profesor Auxiliar de la Pontificia Universidad de Chile, siendo su especialidad Termofluidos, combustión y modelación de hogares.

Tabla 3.3: Coeficientes estequiométricos de una combustión completa usando leña

		Elemento y/o Compuesto	Nomenclatura	Coefficiente Estequiométrico [kmol/h]
Reactivos	Carburante	Carbono	<i>C</i>	0,12
		Hidrógeno	<i>H</i>	0,19
		Oxígeno	<i>O</i>	0,09
		Nitrógeno	<i>N</i>	0,00034
		Ceniza	Ceniza	----
	Aire	Oxígeno	<i>O₂</i>	0,13
		Nitrógeno	<i>N₂</i>	0,48
Productos		Dióxido de carbono	<i>CO₂</i>	0,12
		Agua	<i>H₂O</i>	0,19
		Nitrógeno	<i>N₂</i>	0,47
		Ceniza	Ceniza	----

Una vez obtenidos los valores de los coeficientes estequiométricos de la combustión, se definirá el flujo de gases mediante la ecuación 3.2.

$$\dot{m}_{gases} = \sum C.E_{p_i} \times M_i \dots\dots\dots(3.2)$$

Donde:

- \dot{m}_{gases} : Flujo másico de gases de combustión [kg/s]
- $C.E_{p_i}$: Coeficiente estequiométrico del producto i [kmol/s]
- M_i : Masa molecular del compuesto i [kg/kmol]

Con los valores de los coeficientes estequiométricos obtenidos en los productos (tabla 3.3) y las masas moleculares para cada uno de estos productos se obtiene el flujo másico de los gases.

$$\dot{m}_{gases} = 0,0061 \text{ kg / s}$$

Una vez obtenido el flujo másico de los gases, es necesario determinar su densidad para obtener finalmente el flujo volumétrico de los mismos.

Asumiendo que los gases de combustión se trata como un gas ideal, la densidad de los gases de combustión se determina mediante la ecuación 3.3 [SHAPIRO 2004:3].

$$P_{amb} \times v_{es} = R_{gases} \times T_{gases} \dots\dots\dots(3.3)$$

Donde:

- P_{amb} : Presión atmosférica. [kPa]
- v_{es} : Volumen específico [m³/kg]
- R_{gases} : Constante de los gases de combustión [kJ/kg.K]
- T_{gases} : Temperatura de los gases de combustión [K]

De la ecuación 3.3 se obtiene la densidad de los gases (ecuación 3.4).

$$\rho_{gases} = \frac{P_{amb}}{R_{gases} \times T_{gases}} \dots\dots\dots(3.4)$$

Según se indica en la ecuación 3.4 es necesario determinar la constante de los gases de combustión, siendo este determinado mediante la ecuación 3.5 [HOWELL 1990: 1].

$$R_{gases} = \sum X_i \times R_i \dots\dots\dots(3.5)$$

Donde:

- X_i : Fracción de masa [kg/kg]
- R_i : Constante del gas i [kJ/kg.K]

La fracción de masa se determinará mediante la ecuación 3.6 ([HOWELL 1990: 2]).

$$X_i = \frac{m_i}{m_{total}} \dots\dots\dots(3.6)$$

Donde:

- m_i : Masa del compuesto i [kg]
- m_{total} : Masa total [kg]

Los valores de la constante R para cada compuesto de la combustión, se indican en la tabla 3.4. Dichos valores serán reemplazados en la ecuación 3.5

Tabla 3.4: Valores de la constante R de los productos de la combustión

Producto	R_i [kJ / kg × K]
CO_2	0,18892
H_2O	0,46152
N_2	0,29680

Fuente: [BURGHARDT 1984:1]

La tabla 3.5 indica los valores obtenidos de la fracción de masa después de aplicar las ecuaciones 3.2⁽⁴⁾ y 3.6⁽⁵⁾.

Tabla 3.5: Fracciones de masa de los productos de combustión de la leña

Producto	$C.E_{p_i}$ [kmol / h]	Masa Molecular [kg / kmol]	Masa [kg / h]	X_i
CO_2	0,12	44	5,34	0,24
H_2O	0,19	18	3,34	0,16
N_2	0,47	28	13,25	0,60

Con los valores obtenidos de las fracciones de masas (tabla 3.5) y de las propiedades de los mismos (constante R, tabla 3.4) se obtiene el valor de la constante R para los gases de combustión.

$$R_{gases} = 0,296 \frac{kJ}{kg \times K}$$

Reemplazando los valores de R_{gases} , P_{amb} y T_{gases} en la ecuación 3.4 se obtiene el valor de la densidad de los gases.

$$\rho_{gases} = 0,23 \frac{kg}{m^3}$$

Finalmente con los valores de la densidad de los gases y flujo másico se obtiene el flujo volumétrico de los gases de combustión.

⁴ Con esta ecuación se determina el valor del flujo másico para cada compuesto de los productos.

⁵ Con esta ecuación se determina la fracción de masa para cada compuesto.

$$\dot{V}_{gases} = 0,026 \frac{m^3}{s}$$

3.2 Diseño de la campana de extracción:

El diseño de la unidad de extracción estará definido de la siguiente manera:

- Definir la distancia entre la salida de los gases y la entrada a la campana de extracción.
- Determinar la temperatura de emisión de los gases.
- Establecer la sección transversal de la campana de extracción.
- Calcular el caudal de aspiración.
- Verificar las dimensiones de la campana de extracción.

3.2.1 Distancia entre la salida de los gases y la entrada a la campana de extracción:

La distancia entre la fuente de los gases y la entrada a la campana de extracción indicada en la figura 3.1 deberá ser tal que garantice la correcta captura de los gases y una pérdida de presión menor a 1,25Pa⁽⁶⁾.

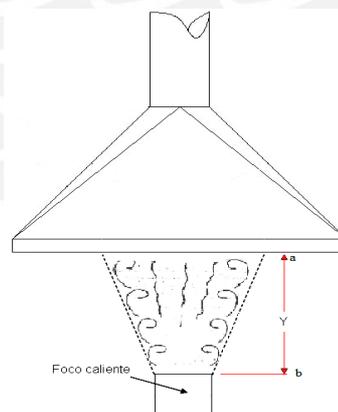


Figura 3.1: Distancia entre la entrada de la campana con la fuente de emisión de gases [ACGIH 1992: 1].

Abramovich mediante diversos ensayos logró proponer una ecuación, en la cual mediante la relación del diámetro de la chimenea con el coeficiente de turbulencia determina una distancia en la cual las propiedades del fluido no varían, siendo esta expresión indicada en la ecuación 3.7 [BATURIN 1972: 1].

⁶ Esta recomendación es proporcionada por la EPA en su método 5G.

$$S_0 = \frac{0,355 \times \phi_{emisión}}{a} \dots\dots\dots(3.7)$$

Donde:

- S_0 : Tramo inicial⁽⁷⁾ [m]
- $\phi_{emisión}$: Diámetro de salida de los gases de combustión [m]
- a : Coeficientes a dimensionales de turbulencia para chorros circulares con simetría axial.

Considerando:

- $\phi_{emisión}^{(8)}$: 0,13 m
- $a^{(9)}$: 0,08

Se determina que la distancia (“Y”, figura 3.1) entre la salida de los gases de combustión con la entrada a la campana de extracción sea menor a 0,58 metros.

3.2.2 Caudal de aspiración:

Para determinar el caudal de aspiración es necesario determinar la sección transversal de la campana de extracción y la temperatura de los gases, siendo estos parámetros:

Sección transversal: Circular (tabla 1.7)

Temperatura de los gases de combustión: 1200 °C (tabla 1.1)

Definidas estas dos condiciones, se determina usar la ecuación propuesta por el ACGIH para campanas de sección transversal circular y para flujos calientes. Esta se indica en la ecuación 3.8 [ACGIH 1992:2].

$$\dot{V}_{aspiración} = 0,04516 \times \phi_{campana}^{2,33} (T_{gases} - T_{amb})^{0,42} \dots\dots\dots(3.8)$$

Donde:

- $\dot{V}_{aspiración}$: Caudal de aspiración. [m³/s]

⁷ Longitud en donde las propiedades del fluido permanecen constantes.
⁸ Extraído de catálogo de estufas estáticas de la empresa AUSTROFLAMM
⁹ Extraído de la tabla Anexo 1. Ver anexo 1

- $\phi_{campana}$: Diámetro de la campana de extracción. [m]
- T_{gases} : Temperatura de los gases de combustión [°C]
- T_{amb} : Temperatura ambiente (20°C) [°C]

Los valores obtenidos mediante la variación del diámetro de la campana de extracción se presentan en el anexo 2, tabla A2.1.

3.2.3 Verificación de la campana de extracción:

- Verificación de la velocidad de captura:

Considerando el caudal determinado con la ecuación 3.8, la velocidad de captura deberá ser verificada empleando la siguiente expresión [ACGIH 1992:3]:

$$\dot{V}_{aspiración} = V_{cp} \times (10 \times H^2 + A_{campana}) \dots\dots\dots(3.9)$$

Donde:

- $\dot{V}_{aspiración}$: Caudal de aspiración. [m³/s]
- V_{cp} : Velocidad de captura. [m/s]
- H : Distancia entre la salida de la fuente y la entrada a la campana de extracción. [m]
- $A_{campana}$: Área de la entrada de la campana de extracción. [m²]

Igualando ambas expresiones (ecuación 3.8 y ecuación 3.9) se obtiene la velocidad de captura, debiendo estar este valor dentro del rango permitido (ver tabla 1.2).

Los resultados mostrados en la tabla 3.6 corresponden a los parámetros de fabricación y de operación de la campana de extracción.

Tabla 3.6: Velocidad de captura según la distancia entre la fuente y la entrada a la campana de extracción.

H [m]	$\phi_{campana}$ [m]	$A_{campana}$ [m ²]	$\dot{V}_{aspiración}$ [m ³ /s]	V_{cp} [m/s]
0,10	0,60	0,28	0,27	0,70

- **Verificación geométrica:**

Consiste en verificar que el chorro cónico de gases que se forma a la salida de la fuente ingrese por completo a la campana de extracción, esto dependerá del ángulo (2θ) de salida del mismo, siendo este valor de 30° [BATURIN 1972: 2]. La figura 3.2 muestra el esquema para la verificación geométrica.

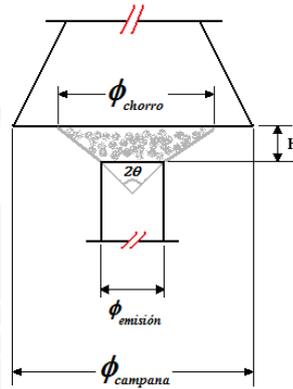


Figura 3.2: Esquema empleado para la verificación geométrica de la campana de extracción

De la figura 3.2 se define lo siguiente:

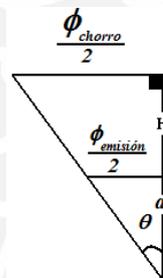


Figura 3.3: Triángulo trigonométrico para determinar el diámetro del chorro.

Empleando identidades trigonométricas:

$$\tan \theta = \frac{\frac{\phi_{emisión}}{2}}{a} = \frac{\frac{\phi_{chorro}}{2}}{H + a} \dots\dots\dots(3.10)$$

El valor obtenido para el diámetro del chorro es de 0,31 metros, siendo este menor al diámetro de la campana de extracción por lo tanto se comprueba que la geometría indicada en la tabla 3.6 cumple.

- **Verificación de la temperatura de los gases:**

En la figura 3.4 se indican los parámetros que influyen en el análisis térmico que se realiza en la campana de extracción y así mismo el volumen de control (VC).

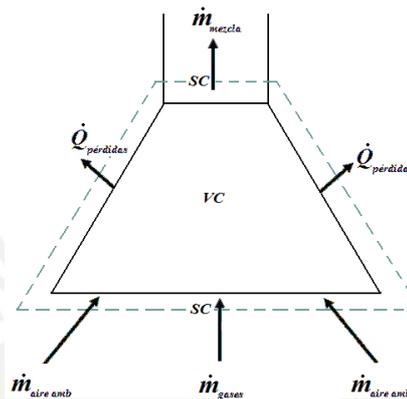


Figura 3.4: Volumen de control definido para la campana de extracción.

Donde:

- \dot{m}_{mezcla} : Flujo másico de la mezcla de gases.
- \dot{m}_{gases} : Flujo másico de los gases de combustión.
- $\dot{m}_{aire\ amb}$: Flujo másico del aire ambiente.
- $\dot{Q}_{perdidas}$: Calor de pérdidas

El proceso que se desarrolla dentro del volumen de control de la campana de extracción (ver figura 3.4), se considerará como estacionario (FEES) por las siguientes condiciones:

- Los flujos másicos de ingreso (gases y del aire ambiente) y de salida son constantes en el tiempo, es decir la variación entre los flujos de masa de entrada y salida es cero.
- Las propiedades termodinámicas de los flujos de entrada y de salida son constantes en el tiempo.
- El estado termodinámico dentro del volumen de control es constante en el tiempo.

Aplicando la primera ley de la termodinámica para un FEES ([SHAPIRO 2004: 4]) se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{dE_{VC}}{dt} = \dot{Q}_{VC} - \dot{W}_{VC} + \sum_e \dot{m}_e \left(h_e + \frac{C_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \left(h_s + \frac{C_s^2}{2} + gz_s \right) \dots\dots\dots(3.11)$$

Respecto al trabajo, la variación de la energía cinética y potencial que se desarrollan en el volumen de control se puede decir lo siguiente:

- El trabajo desarrollado en el volumen de control es nulo.
- La variación de la energía cinética específica es despreciable (el valor de esta variación es de 0,04kJ/kg).
- La variación de la energía potencial específica es despreciable (el valor de esta variación es de 0,003kJ/kg).
- Proceso adiabático, para establecer la mayor temperatura de la mezcla que ingresa al sistema.

De acuerdo a las consideraciones expuestas, la ecuación 3.11 queda simplificada a la siguiente expresión:

$$0 = \sum \dot{m}_e \times h_e - \sum \dot{m}_s \times h_s \dots\dots\dots(3.12)$$

Reemplazando los valores de los elementos que ingresan y salen del volumen de control en la ecuación 3.12:

$$0 = \dot{m}_{aire\ amb} \times h_{aire\ amb} + \dot{m}_{gases} \times h_{gases} - \dot{m}_{mezcla} \times h_{mezcla} \dots\dots\dots(3.13)$$

Donde:

- \dot{m}_{mezcla} : Flujo másico de la mezcla de gases. [kg/s]
- $\dot{m}_{aire\ amb}$: Flujo másico del aire ambiente. [kg/s]
- \dot{m}_{gases} : Flujo másico de los gases de combustión. [kg/s]

- $h_{aire\ amb}$: Entalpía específica de aire ambiente respecto al aire seco. [kJ/kg_{aire seco}]
- h_{gases} : Entalpía específica de los gases [kJ/kg].
- h_{mezcla} : Entalpía específica de la mezcla [kJ/kg].

Ahora se requiere establecer las propiedades de los elementos para el flujo de gases de combustión, para el aire ambiente aspirado y para la mezcla resultante.

Entalpía del flujo de los gases de combustión:

La entalpía de los gases que se empleará en la ecuación 3.12 se determinará con la ecuación 3.14 [BURGHARDT 1984: 2].

$$\bar{h}_i = \bar{h}_f^\circ + [\bar{h}^\circ - \bar{h}_{298}] \dots\dots\dots(3.14)$$

Donde:

- \bar{h}_i : Entalpía específica para el estado i [kJ/kmol].
- \bar{h}_f° : Entalpía específica de formación para el compuesto f [kJ/kmol].
- \bar{h}° : Entalpía específica para una temperatura [kJ/kmol].
- \bar{h}_{298} : Entalpía específica del compuesto a 25°C [kJ/kmol].

El valor de las entalpías específicas de formación para los productos de la combustión se indican en el anexo 2 tabla A2.3. A partir de ello y con la ecuación 3.14 se puede determinar la entalpía específica para cada compuesto de los gases de combustión.

El valor de la entalpía específica de cada compuesto de la combustión, se obtiene dividiendo la entalpía obtenida en la tabla A2.5 entre la masa molecular de cada compuesto siendo los resultados mostrados en el anexo 2 tabla A2.6.

Finalmente la entalpía específica de los gases de combustión se definen mediante [HOWELL 1990: 3].

$$h_{gases} = \sum X_i \times h_i \dots\dots\dots(3.15)$$

Donde:

- h_{gases} : Entalpía específica de los gases de combustión [kJ/kg].
- h_i : Entalpía específica para el compuesto i [kJ/kg].
- X_i : Fracción de masa [kg/kg]

Reemplazando en la ecuación 3.15 los valores obtenidos para la entalpía específica (tabla A2.6) y la fracción de masa (tabla 3.5) se determina que el valor de la entalpía de los gases (h_{gases}) es -2 679,93kJ/kg⁽¹⁰⁾.

Flujo másico del aire ambiente aspirador:

El flujo volumétrico total aspirado viene determinado según la ecuación 3.16.

$$\dot{V}_{aspiración} = \dot{V}_{gases} + \dot{V}_{aire\ amb} \dots\dots\dots(3.16)$$

Donde:

- $\dot{V}_{aspiración}$: Caudal de aspiración. [m³/s]
- \dot{V}_{gases} : Flujo volumétrico de los gases de combustión. [m³/s]
- $\dot{V}_{aire\ amb}$: Flujo volumétrico del aire ambiente. [m³/s]

Con los valores del flujo volumétrico de los gases (ecuación 3.2) y del flujo volumétrico total aspirado (ecuación 3.9) y reemplazando estos en la ecuación 3.16 se obtiene que el valor del flujo volumétrico de aire ambiente ($\dot{V}_{aire\ amb}$) aspirado es 0,244 m³/s.

Así mismo para establecer el flujo másico del aire ambiente aspirado es necesario conocer la densidad del aire ambiente, siendo esta determinada mediante la ecuación 3.17 [GATLEY 2005:1].

$$\rho_{aire\ amb} = \frac{1+x}{v} \dots\dots\dots(3.17)$$

¹⁰ El signo negativo indica que se esta disipando calor al ambiente.

Donde:

- $\rho_{aire\ amb}$: Densidad del aire ambiente [kg/m^3].
- x : Humedad absoluta [$kg_{vapor} / kg_{aire\ seco}$].
- v : Volumen específico [$m^3/kg_{aire\ seco}$].

Sin embargo, la densidad depende del volumen específico y de la humedad específica, por lo cual estas dos propiedades se pueden hallar a partir de las ecuaciones 3.18 [GATLEY 2005:2] y 3.19 [GATLEY 2005:3].

$$v = \frac{287,055 \times (T_{amb} + 273,15) \times (1 + 1,608 \times x)}{P_{amb}} \dots\dots\dots(3.18)$$

Donde:

- T_{amb} : Temperatura ambiente [$^{\circ}C$].
- P_{amb} : Presión atmosférica. [Pa].
- x : Humedad absoluta [$kg_{vapor} / kg_{aire\ seco}$].

$$x = 0,62198 \frac{\phi \times P_{vapor\ sat}}{P_{atm} - \phi \times P_{vapor\ sat}} \dots\dots\dots(3.19)$$

Donde:

- ϕ : Humedad relativa [%].
- $P_{vapor\ sat}$: Presión parcial de vapor de saturación a la temperatura ambiente [kPa].
- P_{atm} : Presión atmosférica [101,325 kPa].

Empleando los valores obtenidos de las ecuaciones 3.18 (ver anexo 2 tabla A2.8) y 3.19 (ver anexo 2 tabla A2.7) se determina con la ecuación 3.17 los valores de la densidad del aire ambiente (ver anexo 2 tabla A2.9).

Finalmente con el valor del flujo volumétrico del aire ambiente aspirado (ecuación 3.8) y con los valores de la densidad (ver anexo 2 tabla A2.9) se determinan los valores del flujo másico del aire (ver anexo 2 tabla A2.10) para distintas condiciones ambientales.

Entalpía del aire ambiente:

Esta propiedad se puede determinar mediante la ecuación 3.20 [GATLEY 2005:4].

$$h_{aire\ amb} = 1,006 \times T_{amb} + x \times (2500,77 + 1,82 \times T_{amb}) \dots\dots\dots(3.20)$$

Donde:

$h_{aire\ amb}$: Entalpía específica de aire ambiente respecto al aire seco [kJ/kg_{aire seco}].

T_{amb} : Temperatura ambiente [°C].

x : Humedad absoluta [$kg_{vapor} / kg_{aire\ seco}$].

Con los valores de la tabla A2.7 (anexo 2) en la ecuación 3.20 se obtienen los valores de la entalpía específica del aire para diferentes temperaturas ambientales (ver anexo 2 tabla 2.12).

Flujo másico de la mezcla (gases de combustión y aire aspirado):

El flujo másico de la mezcla como es:

$$\dot{m}_{mezcla} = \dot{m}_{aire\ amb} + \dot{m}_{gases} \dots\dots\dots(3.21)$$

Donde:

\dot{m}_{mezcla} : Flujo másico de la mezcla de gases. [kg/s].

$\dot{m}_{aire\ amb}$: Flujo másico del aire ambiente [kg/s].

\dot{m}_{gases} : Flujo másico de los gases de combustión. [kg/s]

Con los valores de la tablas A2.10 (ver anexo 2) y el flujo másico de los gases (ver ecuación 3.2) se determinan los valores del flujo másico de la mezcla (ver anexo 2 tabla A2.13).

Entalpía de la mezcla de gases:

Como los valores de la entalpía específica del aire ambiente (ecuación 3.20) están referidos a la masa del aire seco, la ecuación 3.13 se redefine de la siguiente manera:

$$0 = \dot{m}_{\text{aire seco}} \times h_{\text{aire amb}} + \dot{m}_{\text{gases}} \times h_{\text{gases}} - \dot{m}_{\text{mezcla}} \times h_{\text{mezcla}} \dots\dots\dots(3.22)$$

Donde:

- \dot{m}_{mezcla} : Flujo másico de la mezcla de gases. [kg/s].
- $\dot{m}_{\text{aire seco}}$: Flujo másico del aire seco [kg_{aire seco}/s].
- \dot{m}_{gases} : Flujo másico de los gases de combustión. [kg/s]
- $h_{\text{aire amb}}$: Entalpía específica de aire ambiente respecto al aire seco [kJ/kg_{aire seco}].
- h_{gases} : Entalpía específica de los gases [kJ/kg].
- h_{mezcla} : Entalpía específica de la mezcla [kJ/kg].

Reemplazando los valores del flujo másico de los gases (ecuación 3.2), entalpía específica de los gases (ecuación 3.15), flujo másico de aire seco (anexo 2 tabla A2.11), entalpía específica del aire ambiente (anexo 2 tabla A2.12) y el flujo másico de la mezcla (anexo 2 tabla A2.13) en la ecuación 3.22, se obtendrán los valores de entalpía específica de la mezcla para diferentes condiciones ambientales (anexo 2 tabla A2.14).

Definida la entalpía específica de la mezcla, la obtención de la temperatura de la misma se realizará considerando a este flujo volumétrico como una mezcla de gases por lo cual será necesario emplear la ecuación 3.15 para determinar la entalpía específica de una mezcla.

El dióxido de carbono y nitrógeno, serán considerados gases ideales por lo cual se empleará la definición de entalpía específica indicada en la ecuación 3.23 [SHAPIRO 2005: 5].

$$h_i = C p_i \times T_{\text{mezcla}} \dots\dots\dots(3.23)$$

Donde:

- h_i : Entalpía específica del compuesto i [kJ/kg].
- $C p_i$: Calor específico del compuesto i [kJ/kg.K].
- T_{mezcla} : Temperatura de la mezcla [°K].

Los resultados para la temperatura que alcanza la mezcla de los gases a la entrada del sistema de conducción se muestran en la tabla A2.16 (ver anexo 2).

3.3 Ubicación de compuertas en el sistema de extracción:

Según lo establecido en la parte 1.5 del primer capítulo, la ubicación de las compuertas para acceder al interior del ducto se indica en la figura 3.7.

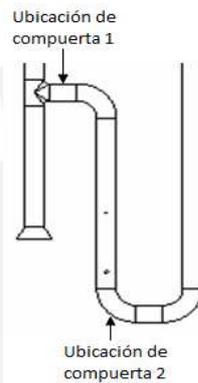


Figura 3.5. Ubicación de compuertas en el esquema sintetizado del sistema de extracción

Los esquemas para las compuertas 1 y 2 están expuestos en las figuras 3.6 y 3.7 respectivamente.

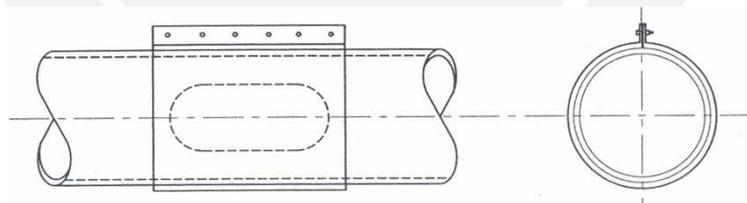


Figura 3.6. Esquema recomendado por el SMACNA y adoptado para la compuerta 1 [SMACNA 1998:1].

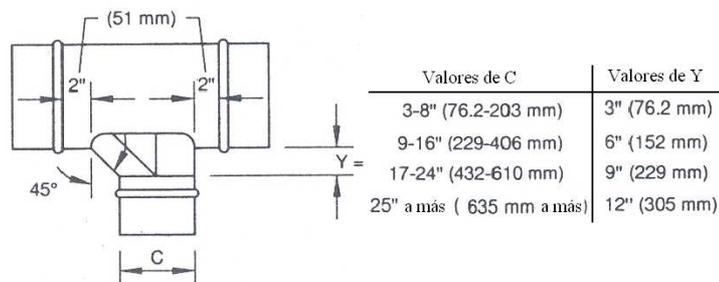


Figura 3.7. Esquema recomendado por el SMACNA y adoptado para la compuerta 2 [SMACNA 1998:2]

3.4 Dimensionamiento de ductos y accesorios:

El sistema de extracción deberá de garantizar que el proceso de captura de las muestras cumplan las condiciones de captura indicadas en el método de la EPA 5G (anexo 6), para tal fin el sistema se subdividirá según se indica en figura 3.8

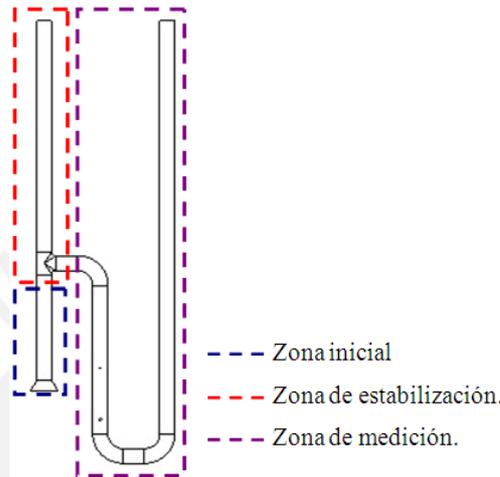


Figura 3.8: Subdivisiones del sistema sintetizado de extracción.

3.4.1 Zona Inicial:

Esta zona será por donde la mezcla de gases (gases de combustión y aire aspirado) recorrerá en primera instancia, siendo al final de su recorrido en donde se direccionará al flujo hacia la zona de medición o a la de estabilización.

Diámetro del ducto:

Para definir el diámetro del ducto ubicado en esta zona se empleará la ecuación 3.24.

$$\dot{V} = V_{\text{fluido}} \times A_{\text{ducto}} \dots\dots\dots(3.24)$$

Donde:

- \dot{V} : Flujo volumétrico [m³/s].
- V_{fluido} : Velocidad del fluido [m/s].
- A_{ducto} : Área del ducto [m²].

Reemplazando en la ecuación 3.25 el valor del flujo volumétrico aspirado (ecuación 3.8) y la velocidad recomendada (tabla 1.3) el valor para el diámetro del ducto es 0,20 metros.

Altura de la campana de extracción:

Con las dimensiones del diámetro de la campana, diámetro del ducto, ángulo de la campana (60°) y de las recomendaciones de la tabla 1.7 se determina la altura de la campana de extracción cuyo esquema se muestra en la figura 3.9.

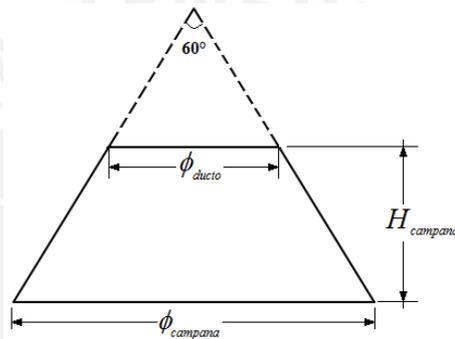


Figura 3.9: Esquema para determinar la altura de la campana de extracción.

Mediante relaciones trigonométricas la altura de la campana de extracción se define mediante la ecuación 3.25.

$$H_{campana} = Sen60^{\circ} \times (\phi_{campana} - \phi_{ducto}) \dots\dots\dots(3.25)$$

Donde:

- $H_{campana}$: Altura de la campana de extracción. [m]
- $\phi_{campana}$: Diámetro de la campana de extracción. [m]
- ϕ_{ducto_zi} : Diámetro del ducto en la zona inicial. [m]

Reemplazando los valores de la ecuación 3.25 se obtiene la altura de la campana en 0,34 metros.

Longitud del ducto:

Según lo indicado en las tablas 1.4, 1.5 y 1.8 para determinar la longitud del ducto para la zona inicial se define en la ecuación 3.26.

$$L_{zc} + H_{estufa} + H_{campana} \leq d_{vc} + d_{va} + d_{ca} + d_n \dots\dots\dots(3.26)$$

Donde:

- L_{zc} : Longitud del ducto para la zona inicial. [m]
- H_{estufa} : Altura de la estufa⁽¹¹⁾. [m]
- $H_{campana}$: Altura de la campana de extracción. [m]
- d_{vc} : Distancia mínima entre los puntos de medición de velocidad y captura. [m]
- d_{va} : Distancia mínima entre un accesorio y los puntos de medición de velocidad. [m]
- d_{ca} : Distancia mínima entre un accesorio y el punto de captura. [m]
- d_n : Distancia adicional⁽¹²⁾. [m]

Con los valores de la ecuación 3.26 se obtiene la longitud de 1,75 metros para el ducto en la zona inicial.

3.4.2 Zona de estabilización:

Esta zona será recorrida por el flujo de la mezcla antes que esta pase por la zona de medición. Este procedimiento garantizará que la zona de medición no se contamine con los primeros gases emitidos desde la cámara de combustión de la estufa.

El diseño de esta zona constará de las siguientes partes:

- Accesorio de direccionamiento de la mezcla.
- Compuerta.
- Diámetro del ducto de salida de los gases.
- Longitud del ducto de salida de los gases.

¹¹La altura promedio de la estufa será de 1,60 m.

¹²Esta distancia es determinada según las condiciones de la zona de montaje. Siendo esta 1 metro.

Accesorio de direccionamiento de la mezcla:

Para realizar el direccionamiento hacia la zona de medición o a la zona de estabilización (ver figura 3.8) se debe emplear un accesorio el cual nos garantice dicha tarea. Para tal fin se empleará una unión T, la cual será diseñada según las recomendaciones del Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association (SMACNA) en su libro HVAC Duct Construction Standards Metal and Flexible.

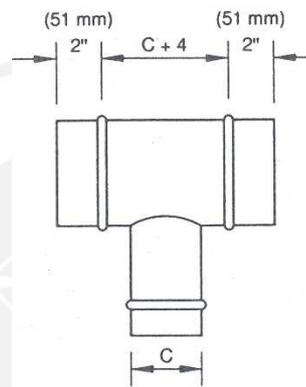


Figura 3.10: Dimensiones de la unión T según las recomendaciones del SMACNA [SMACNA 1998:3].

Las dimensiones finales de este accesorio están determinadas en el plano de fabricación del sistema de extracción.

Compuerta:

La mezcla de gases (gases de combustión y aire aspirado) que recorre el sistema de extracción solamente podrá ir por un solo ducto, es decir una vez que termine el recorrido por la zona inicial se deberá asegurar que circule por la zona de estabilización o por la zona de medición y no en forma simultánea. Para tal fin se empleará una compuerta denominada Damper.

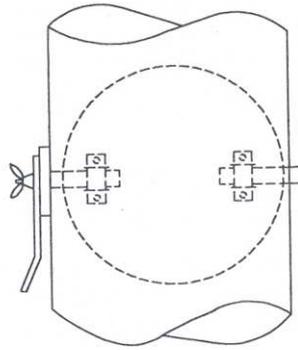


Figura 3.11: Diseño del damper según SMACNA. [SMACNA 1998:4]

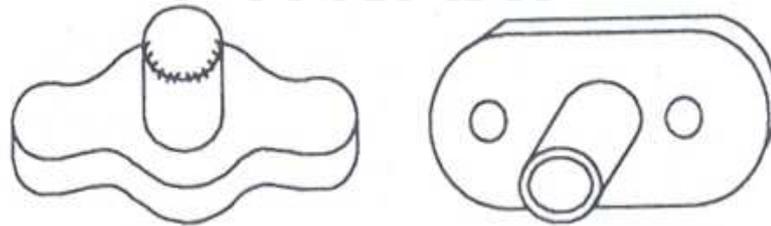
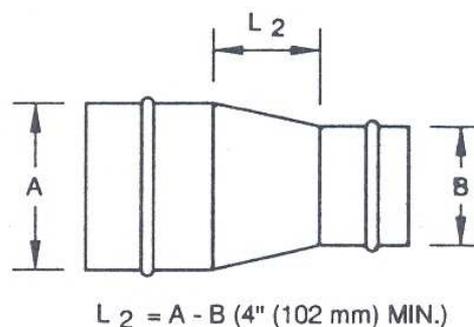


Figura 3.12: Sujetadores del eje del damper con los ductos de ventilación recomendados por el SMACNA [SMACNA 1998:5]

Diámetro del ducto de salida de los gases:

La velocidad de salida para los gases de combustión recomendada por ACGIH es de 13,2 m/s, con este valor y con lo obtenido de la ecuación 3.8 (el valor del diámetro del ducto es de 0,15m).

Para lograr este diámetro es necesario emplear un accesorio que permita reducir el diámetro inicial al final. En la figura 3.13 se muestra el esquema de este accesorio.



$$L_2 = A - B \text{ (4" (102 mm) MIN.)}$$

Figura 3.13: Accesorio para reducir el diámetro de un ducto recomendado por el SMACNA [SMACNA 1998:6]

Longitud del ducto de salida de los gases:

La longitud inicial del ducto de salida de los gases (H_{ze}) quedará definida en función a los valores de la altura de los edificios contiguos a la zona de montaje (ver tabla 1.5 y figura 1.2) [VATAVUK 1999:1].

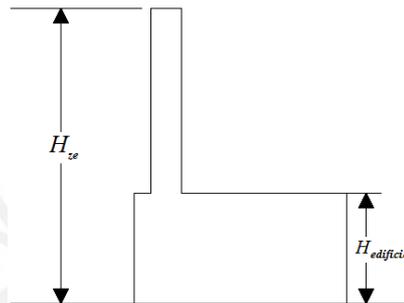


Figura 3.14: Relación entre la longitud del ducto con el edificio [ACGIH 1992: 4].

$$H_{ze} = H_B + 1,5H_b \dots\dots\dots(3.27)$$

Donde:

- H_{ze} : Altura total del ducto de salida de los gases. [m]
- H_B : Altura de la edificación con mayor altura más cercana (ver tabla 1.5). [m]
- H_b : Altura del edificio con menor altura más cercana (ver tabla 1.5). [m]

Sin embargo, según Domingo Santana⁽¹³⁾ la altura total de la chimenea es la suma de la altura real más la altura de la columna de humo. Además al tener edificaciones muy cercanas a la salida de los gases, es necesario garantizar que estos humos no contaminen dichos ambientes, por lo tanto la altura final de la chimenea será la suma del valor obtenido de la ecuación 3.27 y de la columna de humo.

Para obtener el valor de la columna de humo se empleará la ecuación de Davidson – Bryant⁽¹⁴⁾ indicada a continuación.

¹³Profesor de la Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería Térmica y Mecánica de Fluidos.

¹⁴ SANTANA SANTANA, Domingo. Chimeneas. El tiro y su cálculo. [Presentación]. Madrid, Universidad Carlos III de Madrid. Diapositiva 8. [en línea]. Disponible en: <http://termica.uc3m.es/alumn/ST/chimeneas.pdf>. Octubre 2008

$$h_{humo} = \phi_{ze} \times \left(\frac{V_{sg}}{V_v} \right)^{1,4} \times \left(1 + \frac{T_{sg} - T_{amb}}{T_{amb}} \right) \dots\dots\dots(3.28)$$

Donde:

- h_{humo} : Altura de la columna de humo. [m]
- ϕ_{ze} : Diámetro de la zona de estabilización. [m]
- V_{sg} : Velocidad de la salida de gases. [m/s]
- V_v : Velocidad del viento. [m/s]
- T_{sg} : Temperatura de los gases a la salida del ducto. [°C]
- T_{amb} : Temperatura ambiente. [°C]

Para determinar la temperatura de salida de los gases del ducto se empleará las ecuaciones de transferencia de calor indicadas en las ecuaciones 3.29 [HOLMAN 1998: 1]; 3.30 [HOLMAN 1998: 2] y 3.31 [SHAPIRO 2004: 6].

$$Q = \frac{T_i - T_{amb}}{\frac{1}{\alpha_i \times A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2\pi \times k \times L_i} + \frac{1}{\alpha_e \times A_e}} \dots\dots\dots(3.29)$$

$$Q = \alpha_e \times A_e \times (T_{sup} - T_{amb}) \dots\dots\dots(3.30)$$

$$Q = \dot{m} \times Cp \times (T_i - T_f) \dots\dots\dots(3.31)$$

Donde:

- q : Calor transferido por el ducto. [W]
- T_i : Temperatura interna inicial. [°C]
- T_{amb} : Temperatura ambiente. [°C]
- T_{sup} : Temperatura superficial. [°C]
- T_f : Temperatura interna final. [°C]
- α_i : Coeficiente convectivo interno. [W/m² K]
- α_e : Coeficiente convectivo externo. [W/m² K]

A_i	: Área interna del ducto. [m ²]
A_e	: Área externa del ducto. [m ²]
r_i	: Radio interno del ducto. [m]
r_e	: Radio externo del ducto. [m]
k	: Coeficiente conductivo del material. [W/mK]
L_i	: Longitud del ducto en la parte i. [m]
C_p	: Calor específico a la temperatura promedio. [kJ/kgK]
\dot{m}	: Flujo másico. [kg/s]

Empleando la ecuación 3.31 como ecuación inicial y siendo las consideraciones iniciales expuestas en la tabla 3.22, se obtendrá la temperatura para cada tramo del ducto.

Tabla 3.22: Consideraciones para el cálculo.

Consideraciones	Primera parte	Segunda parte
Temperatura superficial del ducto	60 °C	45°C
Temperatura de ingreso al ducto	76,7°C	74 °C
Temperatura de salida de los gases	75°C	65°C
Espesor del ducto	1,5mm	
Temperatura ambiente	20°C	
Material empleado	Acero galvanizado	
Flujo interno	Aire (gas ideal)	
Velocidad del aire circundante al ducto	Quieto	

Considerando solamente la altura obtenida de la ecuación 3.27 (15,5m) la temperatura de salida de los gases para el segundo tramo se indica en la tabla 3.23.

Tabla 3.23: Temperaturas a la salida del ducto.

Valores	Primer tramo	Segundo tramo
Longitud.	1,75m	11,5m ⁽¹⁵⁾
Temperatura promedio superficial	62,5°C	60,3°C
Temperatura de salida de los gases	74,6°C	64,6°C

Con la temperatura a la salida del sistema de los gases de combustión y mediante la ecuación 3.28 se determina que la altura de la columna de humo es de seis (6) metros para una velocidad promedio del aire ambiente de 2,5m/s⁽¹⁶⁾.

Por lo tanto la altura efectiva de la chimenea será la que se obtenga al sumar los valores obtenidos de las expresiones 3.27 y 3.28, siendo el resultado mostrado en la tabla 3.24.

Tabla 3.24: Altura efectiva de la chimenea.

Valores	Chimenea
Longitud.	21,5m ⁽¹⁷⁾

3.4.3 Zona de medición:

En esta zona se obtendrá las condiciones controladas de temperatura (menores a 120°C) y velocidad (220 m/min) para el flujo de la mezcla de los gases. Por lo cual deberá de permanecer aislada de la zona de estabilización hasta que se normalice la combustión dentro de la estufa estática.

El diseño considera las siguientes partes:

- Longitud del ducto antes del ventilador.
- Sistema de regulación de la velocidad en la zona de medición.
- Diámetro del ducto de salida de los gases de la zona de medición.
- Longitud del ducto de salida de los gases de la zona de medición.

¹⁵Esta distancia se obtiene de restar al valor obtenido de la ecuación 3.27 la longitud del primer tramo (1,75m), la altura de la campana de extracción (0,34m) y la altura de la estufa (1,6m) respectivamente.

¹⁶ Valor obtenido de Estación Meteorológica "Hipólito Unanue". (2010)

¹⁷Esta altura de chimenea no es posible alcanzar, por lo cual en las recomendaciones se dará solución a este problema.

Diámetro del ducto en la zona de medición:

El método de la EPA 5G indica que si el flujo de combustible a quemar es mayor a 3kg/h el diámetro del ducto en donde se realice el proceso de captura de la muestra no deberá de ser inferior a 0,15 metros, por lo cual según lo indicado en la parte 3.1 al ser el flujo de combustible mayor a lo indicado por la EPA el diámetro del ducto deberá seguir esta recomendación.

Con los valores de velocidad en el ducto para esta zona (220 m/min, tabla 1.3), caudal de aspiración (0,27 m³/s) y con la recomendación de la EPA (diámetro del ducto) se determina en 0,30 metros el valor para el diámetro de la zona de medición.

Longitud del ducto de la zona de medición:

Con las recomendaciones de la tabla 1.8, el esquema para la ubicación de los puntos de medición de velocidad y captura de la muestra se indican en la figura 3.15.

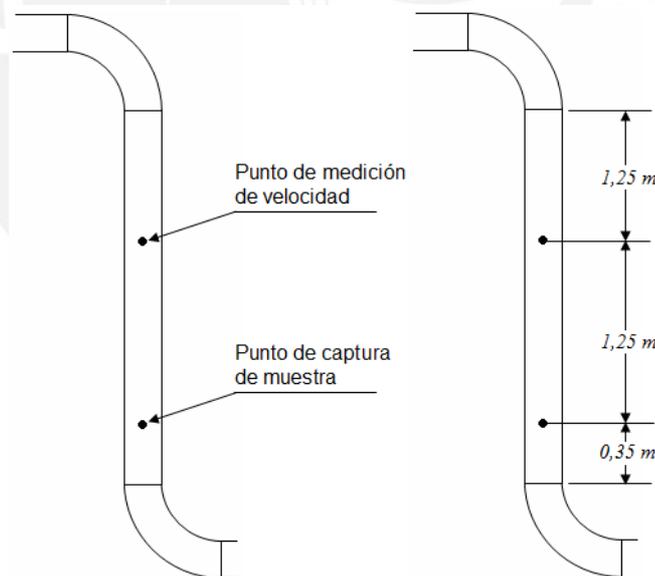


Figura 3.15: Esquema de la longitud del ducto para la zona de medición.

Longitud del ducto antes del ventilador:

Según la recomendación de la ACGIH el ducto ubicado antes del ventilador deberá de ser horizontal y su longitud no menor a seis veces el diámetro del ducto [ACGIH 1992: 5].

Sistema de regulación de la velocidad en la zona de medición:

Para regular la velocidad del fluido en el ducto se empleará un damper, ubicado antes del ingreso del flujo de gases al mecanismo de inducción.

La fabricación de este regulador de flujo seguirá las recomendaciones del SMACNA en su manual de Duct Construction Standards Metal and Flexible (ver figura 3.13), siendo el detalle del mismo presentado en los planos de fabricación del sistema de extracción.

Diámetro del ducto de salida de los gases de la zona de medición:

El cálculo del diámetro del ducto para la salida de los gases de la zona de medición se realizará de igual manera que el empleado para el “**Ducto de salida de los gases**”, obteniendo un diámetro de 0,15 metros.

Longitud del ducto de salida de los gases de la zona de medición:

En referencia a lo realizado en la parte 3.4.2, la longitud del ducto de la salida de los gases de la zona de medición será según se indica en la tabla 3.24.

3.5 Cálculo de pérdidas de presión y selección del ventilador:

3.5.1 Cálculo de pérdidas de presión:

En la zona de estabilización la correcta extracción y salida de la mezcla de los gases depende únicamente de la diferencia de densidades, por lo cual se debe de cumplir que la temperatura a la salida de esta zona debe ser mayor que la del ambiente. La tabla 3.22 muestra los resultados de dicha afirmación.

Al tener condiciones de control (velocidad y temperatura) en la zona de medición, será necesario emplear un ventilador el cual permita lograr obtener un flujo inducido durante todo el tiempo que demore los ensayos de captura de muestras. La selección del ventilador dependerá del cálculo de las pérdidas de presión en esta zona del sistema y del caudal de aspiración.

La figura 3.16 muestra el esquema del sistema de extracción a calcular.

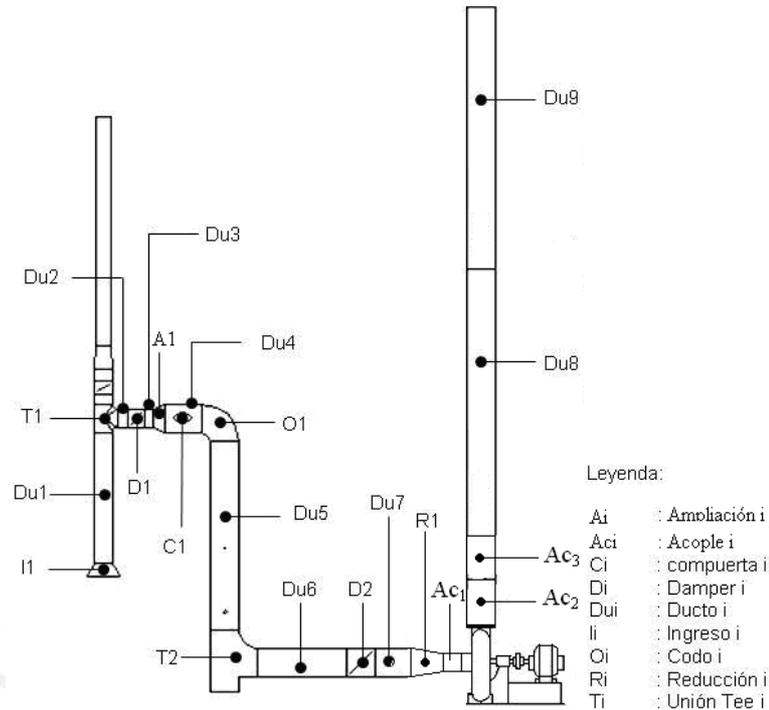


Figura 3.16. Señalización de los accesorios en el sistema de extracción

La cuantificación de la caída de presión que experimenta el fluido a través de los ductos y accesorios se determinará mediante el procedimiento propuesto por el ASHRAE (ver capítulo 2, parte 2.5.3). Dicho procedimiento se realiza aplicando las ecuaciones 3.32 ([ASHRAE 2001: 1]) y 3.33 ([ASHRAE 2001: 2]) respectivamente.

$$\Delta P_f = \frac{f \times L_{ducto} \times \rho \times V_d^2}{2 \times D_h} \dots\dots\dots(3.32)$$

Donde:

- ΔP_f : Diferencia de presión en la tubería [Pa]
- f : Coeficiente de rozamiento.
- L_{ducto} : Longitud del ducto. [m]
- ρ : Densidad del fluido interno. [kg/m³]
- V_d : Velocidad del fluido en el ducto. [m/s]
- D_h : Diámetro interno del ducto. [m]

$$\Delta P_{acc} = \frac{C \times \rho \times V_d^2}{2} \dots\dots\dots(3.33)$$

Donde:

- ΔP_{acc} : Diferencia de presión en el accesorio [Pa]
- C : Coeficiente de pérdidas para accesorios.
- ρ : Densidad del fluido interno. [kg/m³]
- V_d : Velocidad del fluido en el ducto. [m/s]

El factor de rozamiento, queda definido por la ecuación 3.34 ([ASHRAE 2001: 3]).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7 \times D_h} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots(3.34)$$

Donde:

- f : Coeficiente de rozamiento.
- ϵ : Rugosidad absoluta del material del ducto [m]
- Re : Número de Reynolds.
- D_h : Diámetro interno del ducto. [m]

Así mismo el número de Reynolds está definido según la ecuación 3.35.

$$Re = \frac{\rho_{mexcla} \times D_h \times V_d}{\mu} \dots\dots\dots(3.35)$$

Donde:

- Re : Número de Reynolds.
- D_h : Diámetro interno del ducto. [m]
- V_d : Velocidad del fluido en el ducto. [m/s]
- ρ_{mexcla} : Densidad de la mezcla. [kg/m³]
- μ : Viscosidad [Pa.s]

Como se indica en las ecuaciones 3.32, 3.33, 3.34 y 3.35, las pérdidas de presión para ductos rectos y accesorios dependen de las propiedades termo físicas del fluido. Por tal motivo se asumirán las siguientes condiciones para facilitar el cálculo:

Temperatura del fluido: será el mayor valor de los obtenidos de la tabla A2.16 y se mantendrá constante a lo largo del recorrido.

Viscosidad: Se determinará mediante la figura A3.1 (ver anexo 3).

Densidad: será constante y para determinarla se empleará la ecuación 3.4, siendo la constante de la mezcla determinado mediante las ecuaciones 3.5 y 3.6.

Fracción molar del agua: se obtendrá de la tabla A2.19 (ver anexo 2).

La tabla 3.26, muestra las pérdidas de presión para los ductos del sistema de extracción.

Tabla 3.26: Pérdida de presión en los ductos del sistema de extracción.

N°	Ducto	Diámetro (m)	Longitud (m)	Velocidad (m/s)	Densidad (kg/m ³)	Reynolds	Factor de fricción	Caída de Presión (Pa)
1	Du1	0,2	1,75	8,6	1,002	82014,8	0,0220	7,1
2	Du2	0,2	0,26	8,6	1,002	82014,8	0,0220	1,1
3	Du3	0,2	0,26	8,6	1,002	82014,8	0,0220	1,1
4	Du4	0,3	0,82	3,8	1,002	54676,5	0,0233	0,5
5	Du5	0,3	3,03	3,8	1,002	54676,5	0,0233	1,7
6	Du6	0,3	0,93	3,8	1,002	54676,5	0,0233	0,5
7	Du7	0,3	0,51	3,8	1,002	54676,5	0,0233	0,3
8	Du8	0,15	2,5	15,3	1,002	109353,1	0,0213	41,6
9	Du9	0,15	18	15,3	1,002	109353,1	0,0213	299,5

Aplicando la ecuación 3.33, la tabla 3.27 muestra las pérdidas de presión para cada uno de los accesorios empleados.

Tabla 3.27: Pérdidas de presión para cada accesorio del sistema de extracción.

N°	Accesorio		Coef. pérdida	Velocidad (m/s)		Densidad (kg/m ³)	Caída de presión (Pa)
1	I1	Campana	0,95	8,6		1,002	35,2
2	T1	Unión Tee	2	8,6		1,002	74,0
3	D1	Damper	0,19	8,6		1,002	7,0
4	A1	Ampliación	1	8,6	3,8	1,002	29,7
5	C1	Compuerta	1	3,8		1,002	7,3
6	O1	Codo de 90°	0,26	3,8		1,002	1,9
7	T2	Unión Tee	2	3,8		1,002	14,6
8	D2	Damper	11,2	3,8		1,002	81,9
9	R1	Reducción	0,3	3,8	6,2	1,002	3,6
10	Ac1	Acople	0,11	10,2		1,002	5,7
11	Ac2	Acople	0,3	7,8	15,3	1,002	26,0
12	Ac3	Acople	0,11	15,3		1,002	12,9

Finalmente para determinar todas las pérdidas en el sistema se debe realizar la suma de los valores de caída de presión obtenidos en las tablas 3.26 y 3.27.

Tabla 3.28: Pérdidas de presión en el sistema de extracción.

Pérdidas de presión en:	Caída de Presión	
	Pa	mmH ₂ O
Ductos	353,4	30,55
Accesorios	299,8	36,04

Espesor de los ductos:

Los valores recomendados por el manual de ventilación de la ACGIH están presentados en la tabla A2.20 (anexo 2). Sin embargo debido a las pérdidas de presión, la magnitud de la presión interna respecto a la presión externa es menor en toda la longitud del ducto ubicado antes del ventilador, siendo el ducto 7 (Du7 ver figura 3.22) más vulnerable a una deformación por aplastamiento.

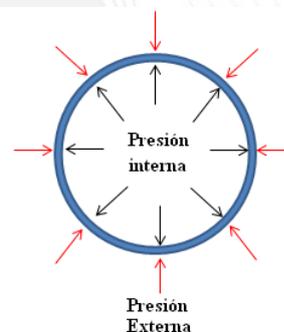


Figura 3.17: Esquema del ducto del sistema de ventilación.

Eugene F. Megyesy basado en las recomendaciones y procedimientos que propone el ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) para el diseño de cilindros que operan con presiones de vacío, realiza un procedimiento para determinar la máxima presión de vacío. Para tal fin relaciona el diámetro externo del cilindro, espesor de la pared del cilindro y un factor B el cual varía según el material, temperatura de operación y módulo de elasticidad.

La ecuación que determina la presión máxima de vacío está indicada en la ecuación 3.36 [MEGYESY 1989: 1].

$$P_a = \frac{4 \times B}{3 \times (D_o / t)} \dots\dots\dots(3.36)$$

Donde:

- P_a : Presión máxima de trabajo. [psi]
 B : Factor de cálculo. [psi]
 D_o : Diámetro del ducto. [m]
 t : Espesor del ducto. [m]

Para obtener la presión máxima de operación en vacío para nuestro caso, se debe de realizar el procedimiento que indica Megyesy:

- Asumir un espesor para la pared del cilindro (t): en nuestro caso este espesor será de 1,5 milímetros.
- Determinar la longitud total del cilindro ($L_{cilindro}$): La longitud del ducto 7 se indica en la tabla 3.26 (0,51 metros)
- Obtener los cocientes de las siguientes divisiones $L_{cilindro}/D_o$ y D_o/t : 1,7 y 200 respectivamente
- Indicar la temperatura de operación: 76,7 °C (200 °F).
- Con los valores obtenidos de L/D_o y D_o/t se ingresará a la gráfica A3.8 y se obtendrá el valor del factor A: 0,000275
- Con el valor obtenido del factor A y con el valor de la temperatura de operación, mediante la gráfica A3.9 se obtendrá finalmente el valor del factor B: 3 750 psi

Reemplazando los valores en la ecuación 3.36 se obtiene la presión máxima de vacío de 25psi (172,4kPa) para un espesor de 1,5 milímetros. Sin embargo cabe señalar que en cualquier sistema que opere en vacío solamente se puede llegar a una presión de vacío de 14,5 psi o su equivalente de 100kPa por lo cual el valor obtenido solamente nos indica que para dicho espesor y diámetro no tendríamos problemas de deformación por aplastamiento.

Finalmente comparando este valor con lo propuesto en la tabla A2.20, se comprueba que el espesor del ducto está dentro de los valores recomendados.

Mecanismos de unión en el sistema de extracción:

Para la unión entre ductos se empleará uniones con brida. Estas uniones permitirán facilidad en el montaje y desmontaje del sistema de extracción a diseñar.

Así mismo para asegurar la unión entre las planchas que se emplearán para la fabricación de los ductos del sistema de extracción se empleará las costuras recomendadas por el SMACNA según se indica en la figura 3.21.

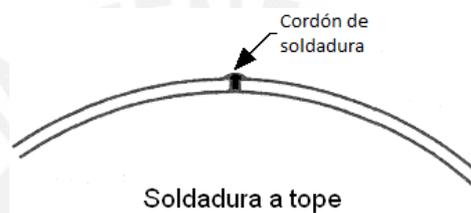


Figura 3.18. Costura recomendada por el SMACNA para ductos de ventilación [SMACNA 1998:7].

3.5.2 Selección del ventilador:

Los parámetros de selección del ventilador están indicados en la tabla 3.29.

Tabla 3.29: Características del sistema de extracción.

	Valores
Pérdida de presión total del sistema de extracción	66.6 mmH ₂ O
Caudal de aspiración	0,27 m ³ /s
Temperatura de operación	76,7 °C
Densidad de la mezcla	1,002 kg/m ³

Con estos valores se determinará gráficamente el tipo de ventilador centrífugo en el anexo 4 que se empleará en el sistema de extracción, siendo el ventilador a usar el indicado en la tabla 3.30.

Tabla3.30: Marca y modelo de ventilador a emplear

Marca	Modelo
GREENHECK	9-IPW-SD

Las características de operación del ventilador se encuentran indicadas en la tabla 3.31.

Tabla 3.31: Características de operación del ventilador seleccionado

Parámetro	Valor
Clase	SD
Potencia del ventilador	0,32 kW
Ruido	72 dba
Velocidad de giro	1 500 rpm
Transmisión	Polea
Rotación	Antihorario

3.6 Cálculo de la potencia del motor eléctrico:

Para determinar la potencia del motor eléctrico es necesario obtener primeramente la potencia requerido por el ventilador.

3.6.1 Potencia del ventilador:

Mediante la ecuación 3.37 se determina el valor de la potencia del ventilador.

$$P_{\text{ventilador}} = \frac{\dot{V}_{\text{aspiración}} \times \Delta P_{\text{pérdidas}}}{102 \times n_{\text{ventilador}}} \dots\dots\dots (3.37)$$

Donde:

- $P_{\text{ventilador}}$: Potencia en el rotor del ventilador. [kW]
- $\dot{V}_{\text{aspiración}}$: Caudal de aspiración. [m³/s]
- $\Delta P_{\text{pérdidas}}$: Caída de presión del sistema. [mmH₂O]
- $n_{\text{ventilador}}$: Eficiencia del ventilador. []

Para determinar la potencia en el rotor del ventilador se empleará una eficiencia del 60% [VATAVUK 1999: 2]. Con los valores obtenidos del flujo volumétrico aspirado y de las pérdidas de presión en el sistema se define la potencia del ventilador.

$$P_{\text{ventilador}} = \frac{0,27 \times 66,6}{102 \times 0,60} = 0,29 \text{ kW}$$

3.6.2 Potencia del motor eléctrico:

La empresa GREENHECK además de ofrecer ventiladores para ciertas condiciones de operación, asocia a cada uno de estos equipos un motor eléctrico. Sin embargo es necesario verificar que la potencia que entrega el motor eléctrico que recomienda esta empresa sea la necesaria para poder poner en funcionamiento al ventilador.

La tabla 3.32 indica las características del motor eléctrico que proporciona la empresa GREENHECK para el ventilador seleccionado.

Tabla3.32: Características del motor eléctrico

Parámetro	
Marca	GREENHECK
Modelo ID	2399
Potencia	0,37 kW (0,5 hp)
Velocidad de giro	1725 rpm
Conexión	Estrella
Tensión	460 V
Número de fases	3

La conexión entre el ventilador y el motor se realizará mediante fajas, siendo la eficiencia de este mecanismo de transmisión un 95%, así mismo los motores eléctricos tiene una eficiencia de 90% [VATAVUK 1999: 3] por lo cual la potencia que debe de entregar el motor al ventilador está definida mediante la ecuación 3.38.

$$P_{motor} = \frac{P_{ventilador}}{n_{motor} \times n_{transmisión}} \dots\dots\dots(3.38)$$

Donde:

- P_{motor} : Potencia del motor eléctrico. [kW]
- $P_{ventilador}$: Potencia en el rotor del ventilador. [kW]
- n_{motor} : Eficiencia del motor eléctrico. []
- $n_{transmisión}$: Eficiencia de transmisión. []

Reemplazando los valores de eficiencias y potencia del ventilador en la ecuación 3.38 se obtiene la potencia del motor eléctrico.

$$P_{motor} = \frac{0,29}{0,90 \times 0,95} = 0,34 kW$$

3.7 Establecimiento de las consideraciones de instalación:

La ACGIH recomienda en su manual de Ventilación Industrial que los soportes para un ducto en espiral deberán de estar a una distancia no menor de 5cm de cada unión. Adoptando esta referencia para los soportes del sistema de ventilación, estos estarán ubicados según se indica en la figura 3.33. Mayor detalle ver anexo 5.

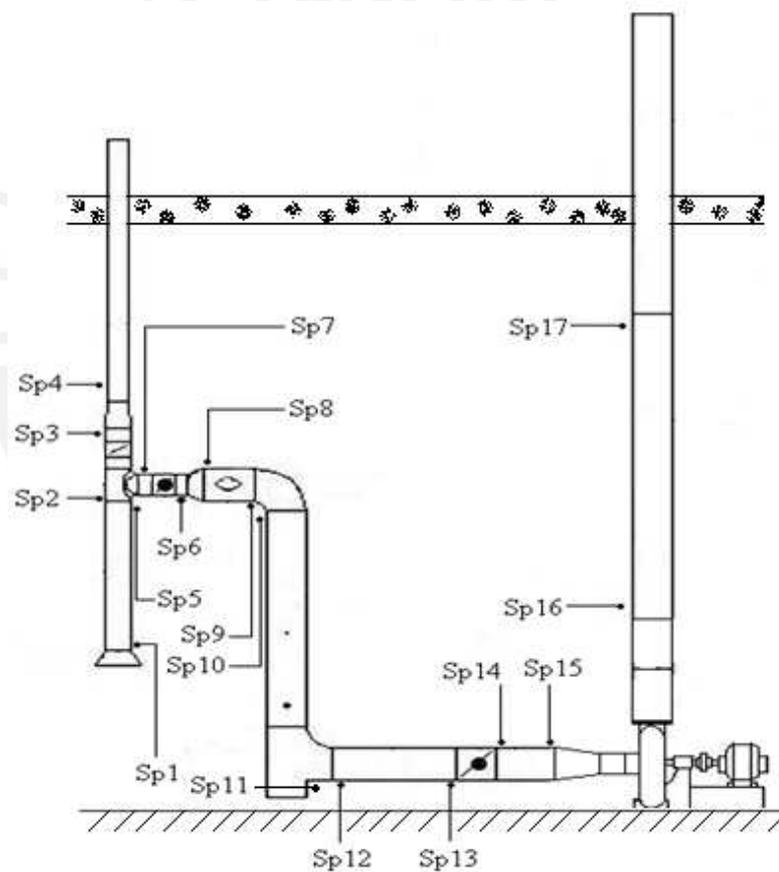


Figura 3.19: Ubicación de los soportes en el sistema de extracción.

REFERENCIAS CAPITULO 3

- [ACGIH 1992: 1] : Ventilación Industrial, Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales. p. 3-20. Modificada
- [ACGIH 1992: 2] : Ibid. p. 3-21
- [ACGIH 1992: 3] : Ibid. p. 3-7
- [ACGIH 1992: 4] : Ibid. p.8-12
- [ACGIH 1992: 5] : Ibid. 8-4
- [ASHRAE 2001: 1] : VARIOS. Fundamentals SI, Ashrae Handbook. Atlanta. p.35.7. Modificado
- [ASHRAE 2001: 2] : Ibid. p. 35.9 Modificado
- [ASHRAE 2001: 3] : Ibid. p. 35.7
- [BATURIN 1972: 1] : Baturín V., Fundamentos de Ventilación Industrial, pag 117
- [BATURIN 1972:2] : Ibid. p199.
- [BURGHARDT 1984: 1] : BURGHARDT, DAVID, Ingeniería Termodinámica. Segunda edición. Tablas.
- [BURGHARDT 1984: 2] : Ibid. p. 307
- [DE DIOS 2010:1] : De Dios Rivera, Juan. 2010. Correo electrónico del 13 de julio. Profesor Auxiliar de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- [GATLEY 2005:1] : GATLEY, Donald; Understanding Psychrometrics, Second Edition. p.143. Modificado
- [GATLEY 2005:2] : Ibid. p.143
- [GATLEY 2005:3] : Ibid. p.148
- [GATLEY 2005:4] : Ibid. p.138
- [HOLMAN 1998: 1] : HOLMAN, J.P. Transferencia de Calor. Octava Edición – Primera edición en español. p.22. Modificado
- [HOLMAN 1998: 2] : Ibid. p.24. Modificado

- [HOWELL 1990: 1] : HOWELL, JHON; BUCKIUS, RICHARD, Principio de Termodinámica para ingeniera. p.446. Modificado
- [HOWELL 1990: 2] : Ibid. p. 442
- [HOWELL 1990: 3] : Ibid. p. 447
- [SHAPIRO 2004: 1] : MORAN, SHAPIRO, Fundamentos de Termodinámica técnica. Segunda edición. pp.702
- [SHAPIRO 2004:2] : Ibid. p. 704
- [SHAPIRO 2004:3] : Ibid. p. 120
- [SHAPIRO 2004: 4] : Ibid. p. 156
- [SHAPIRO 2005: 5] : Ibid. p. 641
- [SHAPIRO 2004: 6] : Ibid. p. 127
- [SMACNA 1998:1] : SHEET METAL AND AIR CONDITIONING CONTRACTORS NATIONAL ASSOCIATION, INC. HAVC Duct Construction Standards Metal and Flexible. Second Edition. p.2.14. Modificada.
- [SMACNA_1998:2] : Ibid. p. 3.11
- [SMACNA_1998:3] : Ibid. p. 3.11
- [SMACNA_1998:4] : Ibid. p.2.16
- [SMACNA_1998:5] : Ibid. p.2.16
- [SMACNA_1998:6] : Ibid. p.3.12
- [SMACNA_1998:7] : Ibid. p.3.8. Modificada
- [SMACNA_1998:8] : Ibid. p.3.8. Modificada
- [MEGYESY 1989: 1] : MEGYESY, Eugene. Manual de Recipientes a Presión. Diseño y cálculo. Primera Edición. 1989. México. p.32.
- [VATAVUK 2000: 1] : VATAVUK, William M. (1999). Campanas, Ductos y Chimeneas. En: Equipo Genérico y Dispositivos. p.1-41. [En línea]. Disponible en:
<http://earth1.epa.gov/ttn/catc/dir2/cs2ch1-s.pdf>. Octubre 2008
- [VATAVUK 2000: 2] : Ibid. p. 1-19
- [VATAVUK 2000: 3] : Ibid. p. 1-19

CAPITULO IV

COSTOS DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN

Para determinar los costos de fabricación del sistema de extracción – conducción es necesario conocer al detalle de todos los elementos que forman parte de este. En la tabla 4.1 se indica la lista de los elementos, características y cantidades.

Tabla 4.1: Lista de materiales del sistema de extracción – conducción.

Ítem	Nombre	Cant.	Características
1	Campana de extracción	1	Diámetro: 0,6m; Altura: 0,34m; Ángulo de apertura: 60°; Espesor: 2mm. La unión de la campana con el ducto será con bridas
2	Empaquetadura Ø200	1	Diámetro interior: 0,20m; Diámetro exterior: 0,24m. El material a emplear deberá soportar temperaturas hasta los 120°C
3	Ducto zona inicial Ø200	1	Diámetro interno: 0,20m; espesor de plancha: 1,5m; Unión del ducto: deberá de ser soldado (se recomienda soldadura TIG); Longitud: 1,75m. En un extremo del ducto se ubicará una brida para la unión con la campana, en el otro extremo no habrá brida.
4	Unión Tee Ø200	1	Diámetro interno: 0,20m; Diámetro interno en las uniones: 0,20m; Espesor: 2mm. Las dimensiones se indican en el plano de fabricación. Se recomienda seguir los procedimientos del SMACNA.
5	Ducto Ø200	4	Diámetro interno: 0,20m; Espesor: 1,5m; Unión del ducto: deberá de ser soldado (se recomienda soldadura TIG); Longitud: 0,26m.
6	Damper Ø200	2	Diámetro: 0,20m; Diámetro interno en las uniones: 0,203m.

Continuación de la tabla 4.1			
Ítem	Nombre	Cant.	Características
7	Reducción Ø200 a Ø150	1	Diámetro interno mayor: 0,203m; Diámetro interno menor: 0,15m; Espesor: 2mm. En la salida del diámetro interno menor deberá de ubicarse una brida.
8	Ducto Ø150	4	Diámetro interno: 0,15m; Espesor de ducto: 1,5mm; Longitud: 2,5m; Unión del ducto: deberá de ser soldado (se recomienda soldadura TIG). En ambos extremos deberá de tener bridas para la unión.
9	Empaquetadura Ø150	8	Diámetro interior: 0,15m; Diámetro exterior: 0,19m. El material a emplear deberá soportar temperaturas hasta los 120°C
10	Ampliación Ø200 – Ø300	1	Diámetro interno menor: 0,203m; Diámetro interno mayor: 0,303m; Espesor de ducto: 2mm.
11	Ducto 1 Ø300	1	Diámetro interno: 0,30m; Espesor: 1,5mm; Longitud: 0,82m. Unión del ducto: deberá de ser soldado (se recomienda soldadura TIG).
12	Tapa de acceso	1	Compuerta tipo split sleeve. Ver indicaciones en el plano.
13	Codo de 90°	1	Diámetro: 0,30m; Diámetro en la unión: 0,303m; Radio de giro: 0,45m; Espesor: 2mm.
14	Ducto de medición	1	Diámetro interno: 0,30m; Longitud: 3,03m; Espesor: 1,5mm
15	Unión Tee Ø300	1	Diámetro interno: 0,30m; Diámetro interno en las uniones: 0,303m; Espesor: 2mm.
16	Ducto de medición	1	Diámetro interno: 0,30m; Longitud: 0,930m; Espesor: 1,5mm. Unión del ducto: deberá de ser soldado (se recomienda soldadura TIG)
17	Damper Ø300	1	Diámetro: 0,30m; Diámetro interno en las uniones: 0,303m.
18	Ducto 2 Ø300	1	Diámetro interno: 0,30m; Longitud: 0,510m; Espesor: 1,5mm. Unión del ducto: deberá de ser soldado (se recomienda soldadura TIG)
19	Reducción Ø300- Ø238	1	Diámetro interno mayor: 0,303m; Diámetro interno menor: 0,238m; Espesor: 2mm. Unión del ducto: deberá de ser soldado (se recomienda soldadura TIG)
20	Empaquetadura Ø238	2	Diámetro interno: 0,238m; Diámetro exterior: 0,280m. El material a emplear deberá soportar temperaturas hasta los 120°C

Continuación de la tabla 4.1			
Ítem	Nombre	Cant.	Características
21	Unión flexible Ø238	1	Diámetro interno: 0,238m; Longitud: 0,135m. En ambos extremos deberá de tener bridas.
22	Ventilador centrífugo	1	Marca: GREENHECK, Modelo: 9-IPW-SD, rotación: antihorario, Caudal: 650cfm, Caída de presión 3inH ₂ O.
23	Motor eléctrico	1	Marca: GREENHECK, Modelo: 2399, Potencia: 0,5hp, Número de fases: 3, Tensión: 460V, frecuencia: 60Hz
24	Cambio de sección	1	Sección inicial: Cuadrada (0,210m x 0,210m); Sección final: Circular (diámetro interno: 0,150 m), Espesor: 2mm
25	Empaquetadura 210x210	1	Sección interna cuadrada de 0,210m. El material a emplear deberá soportar temperaturas hasta los 120°C
26	Unión flexible Ø150	1	Diámetro interno: 0,15m; Longitud: 0,135m. En ambos extremos deberá de tener bridas.

Con la lista de materiales y con los planos respectivos, se realizó las siguientes acciones:

- Solicitar la cotización a diferentes empresas especializadas en el rubro de ventilación y aire acondicionado a nivel local para la fabricación y montaje del sistema de extracción de gases.
- Costear el proyecto a nivel unitario.

Respecto a la primera (cotizar), se tuvo respuesta de dos empresas: TECNITEMP EIRL e Ingeniería Industrial Arana EIRL, las cuales hicieron llegar sus cotizaciones para realizar el trabajo respectivo. Los parámetros de selección se encuentran indicados en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Parámetros de selección de la empresa encargada a realizar la fabricación del sistema de extracción.

Ítem	Parámetro a considerar
1	Precio de mano de obra. (Precio)
2	Experiencia en la fabricación de sistemas de extracción. (Experiencia)
3	Personal calificado (Certificaciones).
4	Servicio de post venta (Mantenimiento).
5	Tiempo de entrega. (Tiempo)
6	Material a emplear. (Material)
7	Tiempo de garantía. (Garantía)

En la tabla 4.3 se realiza la comparación entre las ambas propuestas.

Tabla 4.2: Parámetros de selección de la empresa encargada a realizar la fabricación del sistema de extracción.

Empresa	Precio	Experiencia	Certificaciones	Mantenimiento	Tiempo	material	Garantía	Total
Ideal	5	5	5	5	5	5	5	35
TECNITEMP	5	4	4	1	1	1	3	19
Ingeniería Industrial Arana	3	4	4	4	3	5	4	27
Calificación: 1: Deficiente; 2: Regular; 3: Promedio; 4: Sobre el promedio; 5. Excelente.								

Por lo tanto según se indica en la tabla 4.2 la empresa seleccionada para realizar la fabricación y montaje del sistema de extracción es Ingeniería Industrial Arana EIRL, siendo el monto total de la fabricación del sistema de extracción 7.716,6 dólares americanos (Siete mil setecientos dieciséis con 6/100 dólares americanos).

En relación al costeo unitario, la lista de insumos que se emplean en la fabricación del sistema de extracción de gases de combustión se encuentra en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: Lista de insumos para la fabricación del sistema de extracción de gases.

Ítem	Característica	Cantidad
1	Plancha de acero inoxidable de 4´x 8´ASTM 304 L, espesor 1,5mm.	3
2	Plancha de acero inoxidable de 4´x 8´ASTM 304 L, espesor 2mm	7
3	Ángulo L 5x50x50x6000, material: acero estructural A36	7
4	Barra redonda de acero inoxidable, 10 mm de diámetro	1
5	Tornillos hexagonales M10x25, material: acero inoxidable.	71
	Tuerca hexagonal M10, material: acero inoxidable.	71
	Arandela 10, material: acero inoxidable.	142
6	Tornillos hexagonales, material: acero comercial	60
7	Ventilador centrífugo	1

Los costos de los insumos y factores de fabricación unitaria se indican en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Costos de insumos y factores en la fabricación del sistema de extracción de gases.

Ítem	Característica	Costo unitario
1.	Plancha de acero inoxidable de 4´x8´ ASTM 304 L, espesor 1,5mm	U\$ 185
2.	Plancha de acero inoxidable de 4´x8´ASTM 304 L, espesor 2mm	U\$ 248
3.	Ángulo L 5x50x50, material: acero estructural A36	U\$ 30
4.	Barra redonda de acero inoxidable, 10 mm de diámetro	U\$ 110
5.	Tornillos hexagonales M10x25, material: acero inoxidable.	U\$ 0,61
	Tuerca hexagonal M10, material: acero inoxidable.	
	Arandela 10, material: acero inoxidable (2)	
6.	Tornillos hexagonales, material: acero comercial	U\$ 0,5
7.	Costo mano de obra personal técnico de fabricación	U\$ 7 x hora

Continuación tabla 4.4		
Ítem	Característica	Costo unitario
8.	Costo mano de obra soldador	U\$ 25 x metro
9.	Costo mano de obra personal de montaje	U\$ 12 x hr
10	Ventilador centrífugo	U\$ 961
11	Transporte	U\$ 700

Fuente: Fiorella Representaciones S.R.L. / Laboratorio de Producción – Pontificia Universidad Católica del Perú/ TECNITEMP EIRL

La tabla 4.5 indica los costos totales de la fabricación unitaria del sistema de extracción de gases.

Tabla 4.5: Costos de insumos y factores en la fabricación del sistema de extracción de gases.

Ítem	Característica	Cantidad	Costo total
1	Plancha de acero inoxidable de 4'x 8'ASTM 304 L, espesor 1,5mm.	3	U\$ 555
2	Plancha de acero inoxidable de 4'x 8'ASTM 304 L, espesor 2mm	7	U\$ 1.736
3	Ángulo L 5x50x50x6000, material: acero estructural A36	7	U\$210
4	Barra redonda de acero inoxidable, 10 mm de diámetro	1	U\$110
5	Tornillos hexagonales M10x25, material: acero inoxidable.	71	U\$43,3
	Tuerca hexagonal M10, material: acero inoxidable.	71	
	Arandela 10, material: acero inoxidable.	142	
6	Tornillos hexagonales, material: acero comercial	60	U\$30
7	Costo mano de obra personal técnico de fabricación	160 horas	U\$1120
8	Costo mano de obra soldador	40 m	U\$1.000
9	Costo mano de obra personal de montaje	24 horas	U\$288
10	Ventilador centrífugo	1	U\$ 961
11	Transporte	1	U\$ 700
Costo total del proyecto, no incluye IGV			U\$6.753,3

La tabla 4.6 indica la diferencia entre los costos totales entre la fabricación unitaria y el de encargar la fabricación del proyecto a un tercero.

Tabla 4.6: Costos de insumos y factores en la fabricación del sistema de extracción de gases.

Ítem	Modo de Fabricación	Costo total
1	Fabricación por un tercero: Ingeniería Industrial Arana EIRL	U\$7.716,6
2	Fabricación unitaria del proyecto	U\$7.968,9

Según la tabla 4.6 la diferencia entre ambas propuestas es de U\$252,3. Siendo la más económica la de encargar la fabricación del sistema a un tercero (Industrial Arana EIRL).

Finalmente la facilidad que brinda la tercerización y además la garantía ofrecida en esta modalidad de trabajo por la empresa responsable, hace que se opte por encargar la fabricación del sistema de extracción a la empresa Industrial Arana EIRL.

CONCLUSIONES

1. El sistema de extracción diseñado cumple con las recomendaciones que realiza la Agencia del medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (EPA) en su método 5G.
2. Las condiciones iniciales que se debe cumplir para poner en funcionamiento el sistema de extracción son las siguientes
 - Rango de temperatura ambiente: 10°C a 45°C
 - Rango de humedad relativa: 50% a 100%
 - Rango de temperatura de la cámara de combustión (estufa): 600°C a 1200°C
 - Flujo másico máximo de combustible de la estufa: 4,7kg/h
 - Diámetro de la chimenea de la estufa estática a emplear: [0,1m:0,2m]
 - Distancia máxima entre la campana de extracción y la salida de los gases de la estufa estática: 0,15m
3. El sistema garantiza que la velocidad del fluido sea de 220m/min $\pm 5\%$ en la zona de medición y además que la temperatura en esta misma zona sea inferior a los 120°C, si y solo si se cumplan con las condiciones iniciales.
4. Las condiciones nominales de operación del sistema de extracción son los siguientes: caudal de ingreso de la mezcla de los gases de 0,27m³/s, temperatura máxima de ingreso de la mezcla al sistema de extracción de 76°C y temperatura superficial promedio de 60°C.
5. Con las dimensiones obtenidas el sistema de extracción logra capturar aproximadamente la totalidad de los humos provenientes de la estufa y garantiza que la caída de presión entre la salida de humos y la campana de extracción sea menor a 1,25Pa.
6. El material a emplear en la fabricación del sistema de extracción será acero inoxidable (304L). Con esta elección se asegura que los gases de combustión no sean

alterados en su composición química por compuestos provenientes del material de los ductos..

7. El ventilador empleado en la zona de medición cumple con los requerimientos de caudal ($0,27\text{m}^3/\text{s}$) y caída de presión ($66,59\text{mmH}_2\text{O}$). Así mismo el modelo de ventilador 9-IPW-SD seleccionado es el que genera menor nivel de ruido (72dba) en comparación a sus similares ofrecidos por la marca Greenheck.



RECOMENDACIONES

1. Al obtener una longitud efectiva de chimenea de 21,5m y al no poder realizar el montaje en la zona a ocupar por el sistema de extracción, se recomienda realizar un sistema de mitigación de gases de combustión (lavador de gases) para disminuir el efecto contaminante.
2. Al tener temperaturas de superficie variables, pero todas estas superior a 60 °C, durante el funcionamiento del sistema de extracción, los operarios deberán contar con los siguientes accesorios de seguridad al momento de manipular el equipo:
 - Guantes resistentes al calor.
 - Lentes de seguridad.
 - Orejeras.
 - Extintores.
3. De igual forma para evitar posibles accidentes de las personas ajenas al ensayo, se recomienda ubicar una cerca perimétrica cuando el sistema este funcionando, evitando el contacto con las superficies calientes de los transeúntes.
4. Los equipos de medición, se instalarán antes de cada ensayo y su retiro se realizará cuando este completamente frío los ductos del sistema de extracción y se colocará los tapones en cada uno de los ingresos al sistema de estos equipos de medición.
5. La manipulación de las compuertas, se deberá de realizar con guantes resistentes al calor.
6. Para la calibración del tubo de pitot tipos S, se recomienda revisar la norma técnica peruana NTP900:002 o el método 2 de la EPA.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Agencia de Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica- EPA (EEUU). Medición de material particulado para estufas (Utilización de un túnel de dilución) estáticas – Método 5G.
2. ALDEN, Jhon. Diseño de Sistemas de Ventilación Industrial. New York, 1982.
3. Asociación Americana de Calefacción, Refrigeración y aire Acondicionado. Fundamentals 2001 SI, ASHRAE HANDBOOK. Atlanta: ASHRAE, 2001.
4. BATURIN, V.V.: Aspiración. En: Fundamentos de ventilación Industrial. España: Ibero-Americanos S.A., 1972. 647p.
5. BURGHARDT, DAVID, Ingeniería Termodinámica. Segunda edición. Editorial Harla. 1984.
6. CÁCERES CASAVARDE, Carlos; GARCÍA BUSTAMENTE, Henry; TARDILLO HIDALGO, Guillermo. Balance Nacional de Energía 2006. San Borja: Ministerio de Energía y Minas, 2007. 199p.
7. Censos Nacionales 2007: IX de Población y VI de Vivienda por Rofilia Ramirez “et al”. Jesús María: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2008. 225p.
8. Efecto de los Combustibles de biomasa en el aparato respiratorio: Impacto del campo a cocinas con diseño mejorado / Roberto Accinelli, Cecilia Yshii, Eduardo Córdova, Marita Sánchez Sierra, Cecilia Pantoja, Jessica Carbajal. // Revista de la Sociedad Peruana de Neumología. Vol48, N2 (Mayo-Diciembre 2004).
9. GATLEY, Donald; Understanding Psychrometrics, Second Edition. ASHRAE. 2005.
10. Greenfacts. Facts on Health and the Environment. <<http://www.greenfacts.org/es/glosario/def/exposicion-cronica.htm>>
11. Greenfacts. Facts on Health and the Environment <<http://www.greenfacts.org/es/glosario/def/exposicion-aguda.htm>>.
12. GREENHECK, Industrial Process Fans Catalog Supplement, 1996,
13. GROOVER, Mikell: Fundamentos de manufactura moderna. Tercera Edición. México: McGraw Hill Interamericana., 2007, 1022p
14. HOLLMAN, J. P, Transferencia de Calor. España: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A., 1998.

15. HOWELL, JHON; BUCKIUS, RICHARD, Principio de Termodinámica para ingeniera. México: Mc Graw-Hill, 1990.
16. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Perú). Gestión Ambiental – Emisiones Atmosféricas. Determinación de emisiones de materia particulada de fuentes estacionarias. 2001. Lima, Perú, 2001. 51p.
17. MEGYESY, Eugene. Manual de Recipientes a Presión. Diseño y cálculo. Primera Edición. México: Noriega Editores, 1989, 482p.
18. MORAN, Michael; SHAPIRO, Howard: Fundamentos de termodinámica técnica. 2 Edición. España: Editorial Reverté., 2004, 872p.
19. SANTANA SANTANA, Domingo. Chimeneas. El tiro y su cálculo. [Presentación]. Madrid, Universidad Carlos III de Madrid. Diapositiva 8. [en línea]. Disponible en: <http://termica.uc3m.es/alumn/ST/chimeneas.pdf>.
20. SHEET METAL AND AIR CONDITIONING CONTRACTORS NATIONAL ASSOCIATION, INC. HAVC Duct Construction Standards Metal and Flexible. Second Edition. SMACNA. 1998.
21. Sociedad Americana y Gubernamental de la Industria Higiénica. Ventilación Industrial Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales. I edición en español. Valencia: Artes Gráficas Soler,S.A., 1992.
22. STILL, Dean: Aprendiendo de las estufas para cocinar. En: El Diseño de Estufas Mejoradas para Calefacción. Oregón: Centro de Investigación Aprovecho y la Fundación Shell. Sin página. [en línea]. Disponible en: http://www.repp.org/discussiongroups/resources/stoves/ethos/2005pdf/still_paper.pdf.
23. VATAVUK, William M. (1999). Campanas, Ductos y Chimeneas. En: Equipo Genérico y Dispositivos. [en línea]. Disponible en: <http://earth1.epa.gov/ttn/catc/dir2/cs2ch1-s.pdf>