

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

## DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADO PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE COMBUSTIÓN DEL PROYECTO CARBÓN

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

**JULIO MIKER ARIAS RIVEROS**

**ASESORES: ESTELA ASSUREIRA ESPINOZA**  
**LUIS O. COTAQUISPE ZEVALLOS**

Lima, Julio 2011



© 2011, Julio M. Arias Riveros.

Se autoriza la reproducción total o parcial,  
Con fines académicos a través de cualquier  
Medio o procedimiento, incluyendo la cita  
Bibliográfica del documento.

## DEDICATORIA

Al culminar esta tesis siento una inmensa satisfacción y orgullo:

**Satisfacción**....del deber cumplido de muchas horas de estudios y trabajos.

**Orgullo**.....de sentirme un profesional respaldado por mi título y por los conocimientos adquiridos.

Esta tesis va dedicada en primer lugar Dios, luego a mis padres **Marcial Arias**, **Amanda Riveros**, a mis hermanas Lourdes, Giovanna, Gina y Hanna, y especial a Claudia, a todos ellos gracias por su cariño, paciencia, comprensión y ayuda desinteresada en toda mi vida universitaria.

Para todos ellos; les entrego el fruto de mi trabajo; por la confianza que depositaron en mí y por el apoyo que me dieron en todo momento; por todas aquellas señales de aliento que me animaron a seguir adelante; por aquella palabra o consejo apropiado en su momento que me hizo reflexionar y darme cuenta que la vida continúa.

## RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el Diseño de un sistema de extracción localizada para el Laboratorio de Carbón, que sirva o permita la extracción de los gases producidos al momento de realizar los ensayos ya sea con briquetas de carbón, biomasa (residuos forestales) o cascarillas de arroz.

Para capturar las partículas se desarrolla un sistema de extracción compuesta por una campana extractora localizada tipo Canopy (fija), el transporte de los gases y partículas se realiza por medio de conductos (rectangulares), codos, un sistema de regulación, absorbidas por un ventilador centrífugo que opera a presión negativa, pasando por los filtros de mangas (polipropileno) para la captura de partículas y finalmente por el depurador de limpieza (lavador tipo Venturi), se realiza el lavado de los gases extraídos.

El cálculo para la selección y diseño del sistema de extracción, comprende de ductos de  $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ , donde el fluido es absorbido con una velocidad de captura de  $0,6\text{m/s}$ , velocidad de entrada (transporte) de  $20\text{m/s}$ , se opta un ventilador centrífugo de alabes inclinados hacia atrás, es decir  $\beta_2 < 90^\circ$ , lo cual tiene como característica un menor consumo de potencia, la transmisión de la potencia del motor hacia el ventilador se realiza por medio de bandas V, la velocidad del rotor y potencia del motor-ventilador es de  $1548\text{ rpm}$  y  $2.0\text{ hp}$ , finalmente para la limpieza y captura de las partículas se realiza por medio de filtro cuya área neta de la tela es aproximadamente  $38\text{ m}^2$  y un área total de la tela de  $75\text{ m}^2$ .

Finalmente se presenta los planos de ensamble, despiece y fabricación de todo el sistema de extracción con un costo total de \$ 31,730.00 (dólares americanos), se realiza los manuales de la instalación y de operación del todo el sistema de extracción localizada. Se adopta las Normas Técnicas de Prevención Españolas para establecer los valores admisibles dentro de laboratorio y mantener el confort de las personas al momento de realizar los ensayos.


 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO : DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN  
 LOCALIZADO PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE  
 COMBUSTIÓN DEL PROYECTO CARBÓN

ÁREA : Energía # 253

PROPUESTO POR : Ing. Estela Assureira Espinoza  
 Dr. Luis Cotaquispe Zevallos

ASESOR : Ing. Estela Assureira Espinoza  
 Dr. Luis Cotaquispe Zevallos

TESISTA : Julio Mike Arias Riveros

CÓDIGO : 1999.4069

FECHA : 25 de junio del 2007

DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

En el Laboratorio del Proyecto Carbón se realizan investigaciones relacionadas con el desarrollo de combustibles sólidos a partir del ciclo del carbón mineral así como de residuos agrícolas y forestales carbonizados. Como resultado del proceso de densificación aplicado se obtienen productos de tamaños y formas diversas (cilindros, esfera, ovoides), que luego de su desarrollo deben ser sometidos a pruebas de combustión y resistencia.

*Actualmente*, el laboratorio requiere para completar el equipamiento del banco de ensayos de un sistema que permita la extracción y colección de humos y material particulado que se genera durante las pruebas de combustión. De esta manera se protegerá la salud de los operarios así como el medio ambiente al coleccionar y filtrarlos luego de su captura.

El trabajo propuesto abarcará los siguientes aspectos: identificación de los requerimientos del laboratorio, análisis de los factores relacionados con el proceso de extracción de contaminantes, diseño del sistema de extracción y colección, planos de fabricación, manual de instalación y de uso, y costos de fabricación del equipo.



 14/08/07


 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

 DISEÑO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADO  
 PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE COMBUSTIÓN  
 DEL PROYECTO CARBÓN

## Introducción

1. Banco de Combustión del Laboratorio del Proyecto Carbón.
2. Fundamentos de los sistemas de extracción localizado.
3. Diseño del sistema de extracción localizado
4. Manual de instalación y operatividad del sistema
5. Costos de fabricación

## Planos

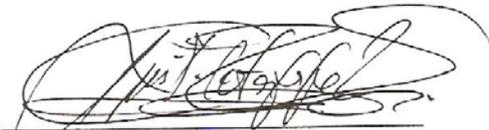
## Conclusiones

## Recomendaciones (opcional)

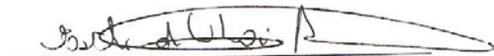
## Bibliografía

## Anexos

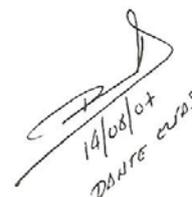
*Máximo: 100 páginas*



Dr. Luis Cotaquispe Zevallos  
Asesor



Ing. Estela Assureira Espinoza  
Asesor

14/08/07  
DARE EVAS

## INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Introducción .....	1
<b>Banco de Combustión del Laboratorio del Proyecto Carbón.....</b>	<b>3</b>
1.1 Descripción del Laboratorio. ....	3
1.2 Generación de contaminantes. ....	5
1.3 Requerimientos para Prevención de la Salud. ....	7
1.4 Requerimientos del sistema de extracción.....	13
<b>Fundamento del sistema de extracción localizada.....</b>	<b>17</b>
2.1 Ventilación aspectos generales. ....	17
2.2 Ventilación localizada.....	18
2.3 Sistema de extracción: matriz de decisión.....	19
2.4 Tubería de transporte. ....	24
2.5 Codos. ....	28
2.6 Tiro de chimenea. ....	29
2.7 Ventiladores. ....	29
2.7.1 Ventiladores radiales (centrífugos).....	30
2.7.2 Ventiladores axiales.....	32
2.8 Separadores.....	36
2.8.1 Filtro de mangas.....	36
2.8.2 Lavadores húmedos (SCRUBBERS).....	42
2.9 Sistema eléctrico. ....	44
2.9.1 Conductores eléctricos.....	44
<b>Diseño del sistema de extracción. ....</b>	<b>47</b>
3.1 Aspectos generales.....	47
3.2 Diseño de la campana. ....	49
3.3 Sistema de ducto. ....	52
3.4 Selección del ventilador.....	56
3.5 Selección de los filtros de mangas.....	59
3.7 Cálculo del soporte de la campana. ....	61
3.8 Cálculo del conductor eléctrico. ....	69
<b>Manual de instalación y operatividad del sistema.....</b>	<b>72</b>
Manual de instalación. ....	73
1° Instalación de la campana. ....	75
2° Instalación del regulador.....	76
3° Instalación del ducto regulador (ducto 1), un codo y ducto 2.....	79
4° Instalación del codo, ducto 3, ducto 4 y codo.....	80
5° Instalación del sistema de extracción (ventilador).....	81
6° Instalación del sistema de limpieza (purificador).....	81
7° Instalación del Depurador de limpieza (Lavador de Venturi). ....	81
8° Instalación de ducto y codos restantes. ....	82
Manual de operación.....	83
<b>Costos de fabricación.....</b>	<b>84</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>88</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>90</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>91</b>

## INDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1. Estándares de la EPA de calidad de aire.....	12
Tabla 1.2. Valores guía para "contaminantes clásicos", según la OMS, basados en efectos conocidos para la salud .....	13
Tabla 2.1. Materiales para filtros de mangas.....	38
Tabla 2.2. Factor de material.....	40
Tabla 2.3. Factor de uso.....	40
Tabla 2.4. Factor de tamaño de partículas.....	41
Tabla 3.1. Cálculo del rango de caudales con velocidades de captura.....	52
Tabla 3.2. Muestra de distintos diámetros en el rango de velocidad de captura, con la velocidad de entrada recomendada.....	53
Tabla 3.3; Muestra de distintos diámetros en el rango de velocidad de captura, con la velocidad de entrada recomendada.....	55
Tabla 3.4. Muestra de distintos diámetros en el rango de velocidad de captura, con la velocidad de entrada recomendada.....	56
Tabla 3.5. Rango de pérdidas del sistema, diámetros y potencias.....	57
Tabla 3.6 Cálculo del área total y la carga específica.....	61
Tabla 3.7. Peso de componentes.....	67
Tabla 5.1. Costo de la campana extractora, sistema de regulación, soporte de la campana y accesorios.....	88
Tabla 5.2. Costo de tubería de transporte y accesorios.....	89
Tabla 5.3. Costo del ventilador centrífugo según el mercado.....	89
Tabla 5.4. Costo de filtro de mangas según el mercado.....	89
Tabla 5.5. Costo de depurador de limpieza según el mercado.....	89
Tabla 5.6. Costo de montaje de equipos y accesorios.....	90
Tabla 5.7. Costo de tubería de transporte y accesorios.....	91

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $A_{ducto}$  : área de la campana ( $m^2$ ).  
 $C_e$  : coeficiente de entrada a la campana  
 $D_{ducto}$  : diámetro del ducto ( $m$ ).  
 $FS$  : factor de seguridad.  
 $F.P$  : factor de potencia  
 $H_{man.sistema}$  : pérdida del sistema ( $mm$  agua).  
 $K_A$  : carga específica ( $(m^3/min)/m^2$ ).  
 $K_T$  : factor de corrección por temperatura.  
 $L$  : longitud del banco de pruebas.  
 $L_{ducto}$  : longitud de un ducto ( $m$ ).  
 $M_t$  : torque o momento torsor ( $N.mm$ ).  
 $N$  : ( $RPM$ ).  
 $P$  : potencia del ventilador o potencia al eje ( $W$ ).  
 $Q$  : caudal en pies cúbicos / minutos ( $ft^3/min$ ).  
 $V$  : velocidad de captura en pies / minuto ( $ft/min$ ).  
 $V_{entrada\ campana}$  : velocidad de entrada a la campana ( $m/s$ ).  
 $V_{entrada\ ducto}$  : velocidad de entrada ( $m/s$ ).  
 $V_{salida\ campana}$  : velocidad de salida de la campana ( $m/s$ ).  
 $V_v$  : voltaje ( $V$ ).  
 $V_3$  : velocidad en el ducto ( $m/s$ ).  
 $a$  : área de la campana en pies ( $ft$ ).  
 $d$  : diámetro del eje ( $mm$ ).  
 $h_{w.codos}$  : pérdida en los codos ( $mm$  agua).  
 $h_{w.ducto}$  : pérdidas en los ductos ( $mm$  de agua).

- $h_{w.campana}$  : pérdidas en la campana ( $mm$  agua).
- $k$  : valor que depende del material, para un acero galvanizado.
- $k_1$  : coeficiente de pérdida del codo
- $x$  : distancia de la campana al banco de pruebas en pies ( $ft$ ).
- $\eta$  : eficiencia eléctrica (%).
- $\gamma_{aire}$  : densidad del aire ( $Kg/m^3$ ).
- $\tau_{tpul}$  : esfuerzo de torsión máximo admisible ( $N/mm^2$ ).
- $\tau_t$  : esfuerzo de torsión en el eje ( $N/mm^2$ ).
- $\nu$  : viscosidad cinemática ( $m/s^2$ ).



## Introducción

El presente trabajo desarrolla el diseño de un sistema de extracción para el Laboratorio de Carbón - Biomasa, donde se realiza ensayos de combustión de briquetas de carbón, y biomasa (residual), en la realización de los ensayos se emiten gases tóxicos, dañinos para salud de las personas que se encuentran dentro del laboratorio.

La captura los gases y partículas producidos al implementar la propuesta de la campana localizada tipo Canopy (fija), siendo el medio de transporte conductos cuadrados, absorbidas por un ventilador centrífugo que opera a presión negativa, pasando por filtros de mangas (polipropileno) para la captura de partículas y finalmente por el depurador de limpieza (lavador tipo Venturi), para el lavado de los gases.

El desarrollo del trabajo comprende de 4 capítulos

El capítulo 1 describe la necesidad que existe en los ensayos de combustión del laboratorio del Proyecto Carbón - Biomasa, de extraer los gases y partículas contaminantes generadas al realizar los ensayos; se detalla la ubicación del laboratorio y dentro de ella el banco de ensayos. Se describe los combustibles con los que se realiza los ensayos como la biomasa (restos forestales) y carbón mineral, se adopta Normas Técnicas de Prevención Españolas para establecer los valores admisibles dentro de laboratorio.

Seguidamente, el capítulo 2 se define el tipo de sistema y componente del sistema de extracción a partir de los fundamentos teóricos; se selecciona el tipo de campana extractora a utilizar, el sistema de conducción (forma y diámetro), la selección el ventilador que permite evacuar los gases y partículas contaminantes y finalmente la selección de los sistema de limpieza (filtros de mangas y depurador de limpieza).

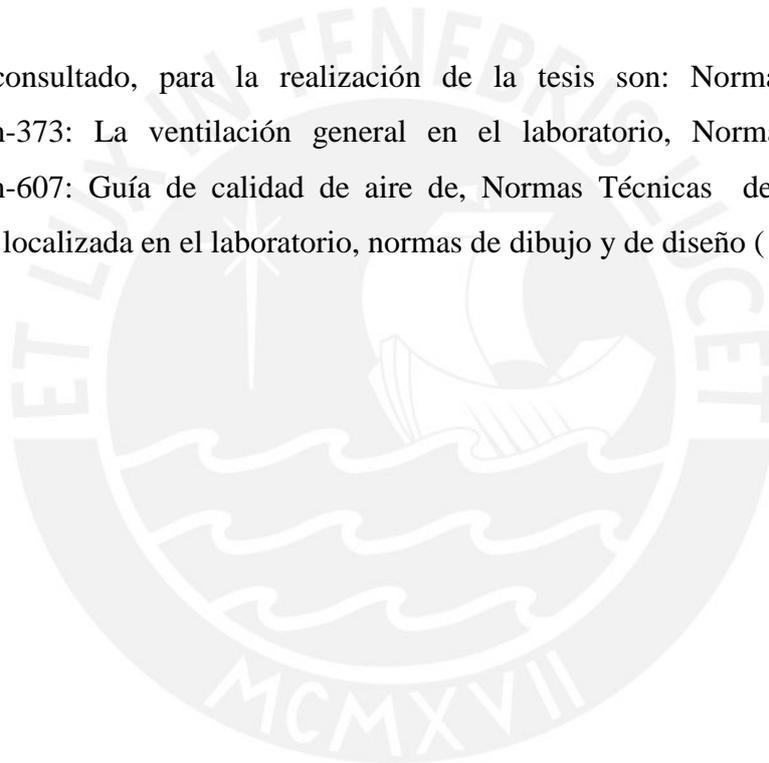
A continuación, el capítulo 3 se realiza los cálculos básicos para el diseño de la campana extractora, el diámetro necesario del ducto, la velocidad con la que se transporta los gases captados, la selección de la potencia del ventilador, la selección de

los filtros de mangas y la selección del depurador de limpieza (Scrubbers). Se desarrollan planos de ensamble, despiece y fabricación de todo el sistema de extracción.

En el capítulo 4 se presenta un manual de la instalación y operatividad de todo el sistema de extracción.

Finalmente en el capítulo 5 se presenta los costos preliminares para la fabricación, instalación y puesta en marcha del sistema de extracción en el Laboratorio de Carbón – Biomasa.

Material consultado, para la realización de la tesis son: Normas Técnicas de Prevención-373: La ventilación general en el laboratorio, Normas Técnicas de Prevención-607: Guía de calidad de aire de, Normas Técnicas de Prevención-672: extracción localizada en el laboratorio, normas de dibujo y de diseño ( DIN , ISO).



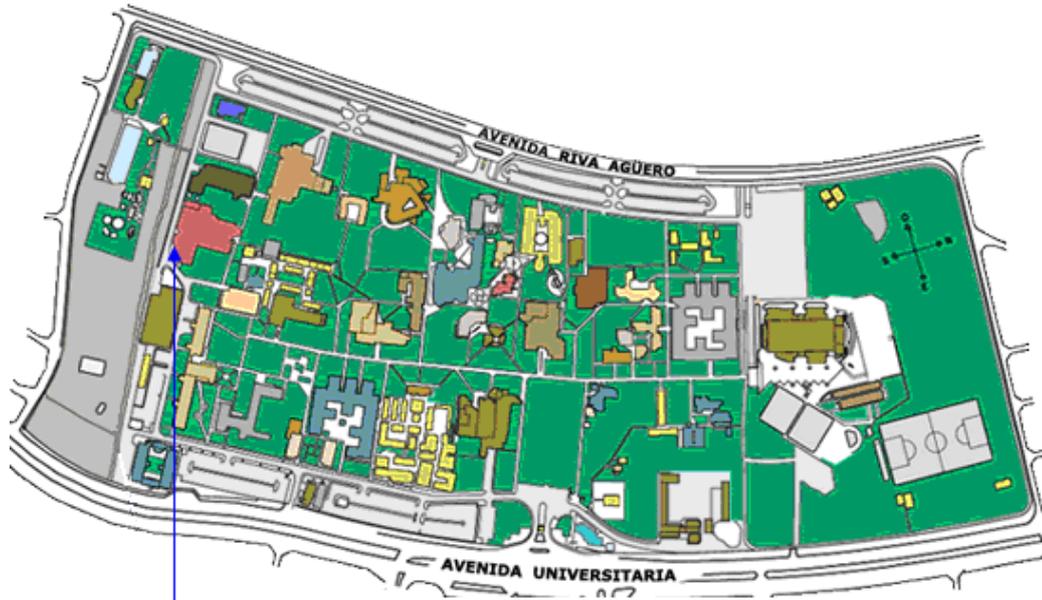
## CAPITULO 1

### **Banco de Combustión del Laboratorio del Proyecto Carbón**

Se presenta la necesidad de extracción de gases y partículas que se produce durante los ensayos de combustión sea con las briquetas de carbón vegetal o biomasa (residual). También se incluye las Normas a tener presente para el diseño del sistema de extracción localizada, asimismo se indica cual es la problemática de la generación de los gases generados y requerimientos que se tiene que practicar para satisfacer dicha necesidad.

#### 1.1 Descripción del Laboratorio.

El Laboratorio del Proyecto Carbón está localizado en la Sección Ingeniería Mecánica, en la parte posterior del área de Fundición, ver figura 1.1.



**Laboratorio de Carbón**

Figura 1.1. Ubicación del Laboratorio Carbón [Ref. 1.1]

El laboratorio es de material noble, construido sobre un área aproximada de  $92m^2$ , la figura 1.2 muestra los parámetros dimensionales. Se asigna números a las paredes del laboratorio para una mejor descripción del lugar de trabajo, como se puede apreciar, la pared asignada con el número 2 tiene una abertura por donde se podría instalar el ducto del sistema de transporte.

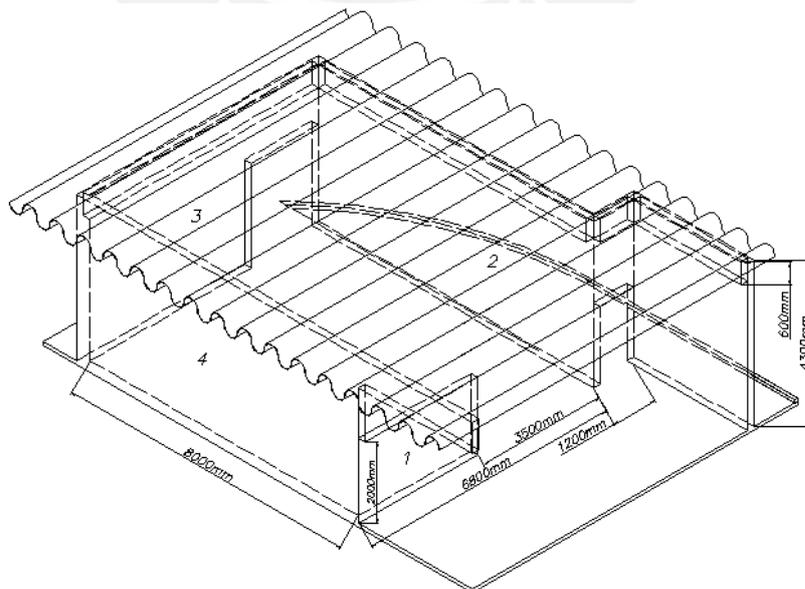


Figura 1.2. Dimensiones del Laboratorio de Carbón

El banco de pruebas se ubica a una distancia aproximada de  $30\text{cm}$  de la pared 2, es importante por que proporciona la distancia de la campana hacia la pared mencionada, por lo que esta se encuentra fija. Las dimensiones del banco de combustión (prueba) son de  $90\text{cm}$  de largo por  $90\text{cm}$  de ancho, además la trayectoria del sistema de conducción es por la parte superior de la pared número 2, se aprovecha la abertura (ventana) tal como muestra la figura 1.3.

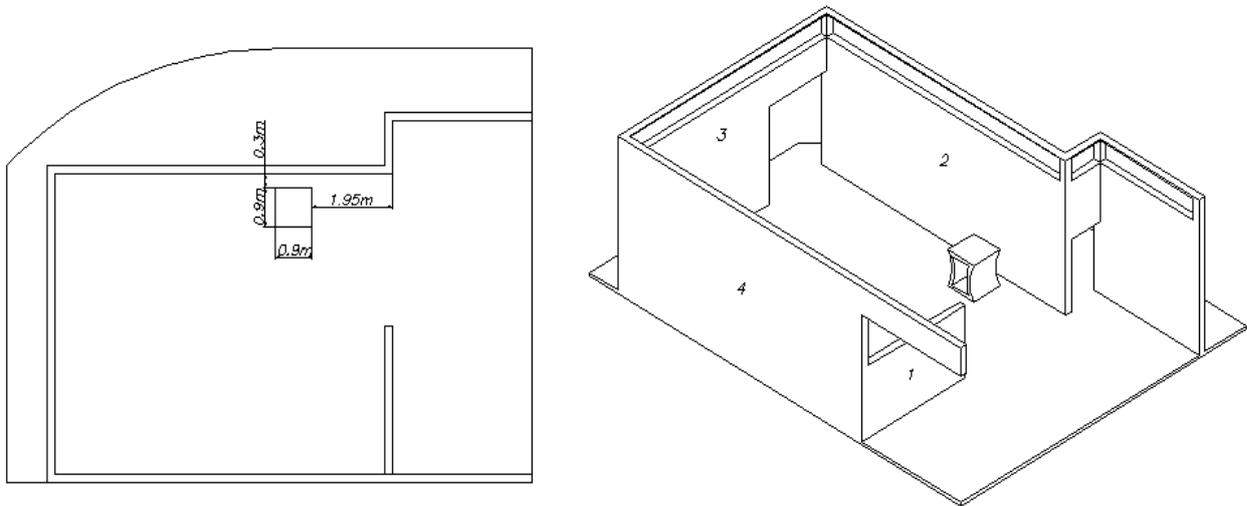


Figura 1.3. Ubicación del banco de combustión (pruebas).

## 1.2 Generación de contaminantes.

La contaminación del ambiente es uno de los problemas más graves que enfrenta la humanidad, entre los varios tipos de contaminación del ambiente se encuentra la contaminación del agua, aire, suelos y el ruido. Como se puede percibir, la contaminación del ambiente afecta la salud, calidad de vida, economía y por ende, el futuro; en este caso, la contaminación del aire es causada por las emisiones de gases tóxicos generados en los procesos de combustión incompleta y en combustión completa pero en menor porcentaje.

A continuación y de modo breve se indica las características mas importantes de los dos tipos de combustible que se usan o ensayan en Laboratorio de Carbón.

- a. La biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen animal como vegetal, convirtiéndose en energía térmica, eléctrica o combustible. Los combustibles de la biomasa contienen pequeñas cantidades de azufre comparado con el carbón y producen emisiones disminuidas de dióxido de azufre ( $SO_2$ ). Además, sus temperaturas de combustión son más bajas, las cuales ayudan a reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), de igual manera las emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), aunque para el aprovechamiento energético de esta fuente renovable se tenga que proceder a una combustión, y el resultado de la misma sea agua y dióxido de carbono. Por la alta temperatura en el cual un combustible sólido reacciona con una limitada cantidad de aire u oxígeno se convierte en combustible gaseoso. Los constituyentes en el combustible gaseoso incluyen , donde los gases que lo constituyen  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $H_2$  y algunos hidrocarburos más altos; los constituyentes inertes son principalmente el  $N_2$ ,  $CO_2$  y vapor de agua
- b. La combustión de carbón mineral; al igual que cualquier otro combustible fósil, produce dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), junto con distintas cantidades de dióxido de azufre ( $SO_2$ ), en función de donde se extrae. El dióxido de sulfuro reacciona con oxígeno al trióxido del sulfuro de la forma ( $SO_3$ ), que entonces reacciona con agua al ácido sulfúrico de la forma. El ácido sulfúrico se vuelve a la tierra como lluvia ácida, el dióxido de azufre reacciona con el oxígeno para formar trióxido de azufre ( $SO_3$ ), que luego reacciona con el agua para formar ácido sulfúrico ácido. Un sistema de depuración es la utilización de cal para eliminar el dióxido de azufre puede reducir o eliminar el riesgo de la lluvia ácida.

Con la finalidad de aprovechar su poder energético y calorífico del carbón mineral y de la biomasa (residual), además en minimizar los efectos negativos ambientales de los residuos aprovechados y de las propias aplicaciones, se desarrolla y ensayan diversos tipos productos densificados a partir del carbono y la biomasa para su empleo como

combustible, también se desarrolla equipos domésticos como cocina y calefactores comunales. Los procesos de combustión que se realizan con la biomasa y carbón mineral generan humo, hollín, partículas y muchos tipos de gases nocivos (del cual se expone en el anterior párrafo cuales son los contaminantes se generan dichos elementos actuantes) que afectan a las personas que se encuentran en el laboratorio, ya sea realizando ensayos y/o observando los procesos que se realizan en el laboratorio.



Figura 1.4. Combustibles alternativos (briquetas de carbón y cascarilla de arroz) y el equipo a utilizar en los ensayos [Ref. 1.2]

### 1.3 Requerimientos para Prevención de la Salud.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la salud como “un completo estado de bienestar en los aspectos físicos, mentales y sociales” y no sólo la ausencia de enfermedades. Esta definición forma parte de la Declaración de Principios de la OMS desde su fundación en 1948. En la misma declaración se reconoce que la salud es uno de los derechos fundamentales de los seres humanos, y que lograr el más alto grado de bienestar depende de la cooperación de individuos y naciones y de la aplicación de medidas sociales y sanitarias.

La generación de contaminante después del proceso de combustión afecta el confort e, incluso, la salud de las personas que se encuentran dentro del laboratorio. Por ello se debe adoptar una actitud preventiva al respecto, emprendiéndose acciones para reducir

la exposición a los mismos solamente cuando se han detectado efectos asociados a ellos. La emisión de los gases provenientes de los procesos de combustión son dañinas para la salud por el contenido de gases tóxicos, ya que está comprobado la relación entre el uso inadecuado de combustibles de la biomasa y las enfermedades pulmonares crónicas, la tuberculosis, las caratas y los abortos involuntarios ( Albalak, Frisancho y Keeler, 1999; Perez-Padilla et al. 1996;Mishra, Retherford y Smith, 1999 Mohan et al, 19989; Mavlankar, Trivedi y Gray, 1991)

Se adopta para este estudio las referencias las Normas Técnicas de Prevención Españolas, EPA (Agencia De Protección del medio ambiente de EE.UU.) y OMS (organización Mundial de Salud), y para establecer los valores admisibles dentro del laboratorio. El uso de NTP, EPA y OMS es por la carencia de norma de prevención a la salud en el país, que permite satisfacer el confort y bienestar los dentro de un laboratorio.

En las siguientes líneas se describe la Normas Técnicas de Prevención 373; Ventilación general en el laboratorio, y la Normas Técnicas de Prevención 607; Guía de calidad de aire de interior, dichas normas no son utilizadas directamente, sino como referencias generales que se debe tener en consideración. La Normas Técnicas de Prevención 672: Extracción localizada en el laboratorio se utiliza por la información específica, ventajas y desventajas que muestra sobre la extracción localizada que requiere el diseño.

La utilización de las normas técnicas de prevención, establece los límites de aquellos elementos que presentan algún grado de peligro para las personas que se encuentran en el ambiente de trabajo, basándose en el acondicionamiento ambiental, en el confort del trabajador al momento de realizar los ensayos evitando la difusión del foco contaminante, dando márgenes de cual debe ser la calidad de aire dentro del área de trabajo para evitar perjuicio a la salud.

La carencia de normas adecuadas en nuestro país hace adoptar las normas técnicas de prevención españolas e internacionales (para los estándares de la calidad de aire dentro del ambiente de trabajo), sólo en nuestro país existe en concordancia la Ley N° 28804, Única Disp. Transitoria: Artículo 31.- Del Estándar de Calidad Ambiental y Artículo 32.- Del Límite Máximo Permisible y la R. N°. 192-2007-CONAM-PCD (Aprueban la Propuesta de Límites Máximos Permisibles (LMP) de efluentes líquidos y para emisiones atmosféricas de fuente puntual en actividades minero metalúrgicas) (ver anexos).

### Normas Técnicas de Prevención-373: La Ventilación General en el Laboratorio.

[Ref. 1.3]

La norma describe información general del acondicionamiento ambiental, características específicas; basándose en los focos de calor, los tipos de extracción existentes como a) Ventilación por Sobre presión. Figura 1.5a; b) Ventilación por Depresión Figura 1.5b; Ventilación Ambiental o General Figura 1.5c y d) Ventilación Localizada, Figura 1.5d, También describe el confort termo higrométrico del acondicionamiento del aire, que debe haber en un laboratorio, y da la recomendación básica al diseñar un sistema de acondicionamiento para un laboratorio desde el punto de vista general, por lo que recomienda utilizar una extracción localizada.

a) Ventilación por sobre presión.

La presión interior de la habitación es mayor que la presión atmosférica.

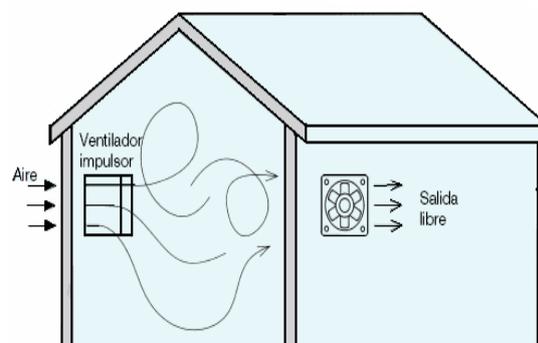


Fig. 1.5a: Vent. Sobre presión. [Ref. 1.4]

b) Ventilación por depresión.

La existencia de 2 aberturas frente a frente, una donde se coloca un ventilador extractor provocando una depresión respecto a la atmosférica lo cual por la otra abertura ingresa aire limpio.

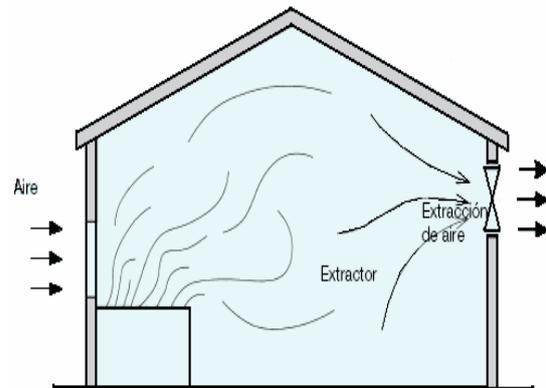


Fig. 1.5b: Vent. por Depresión. [Ref. 1.5]

c) Ventilación ambiental o general

Lo inconveniente es que tiene un foco contaminante con desplazamiento de gases y vapores molesto, donde el aire debe de ser capturada se esparce por todo el local.

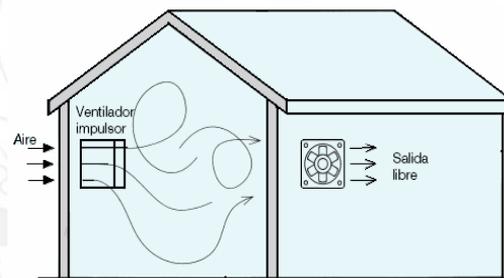


Fig. 1.5c: Vent. Ambiental. [Ref. 1.6]

d) Ventilación localizada

La extracción se realiza antes que el foco contaminante se distribuya en el área o habitación de trabajo impidiendo la contaminación total.

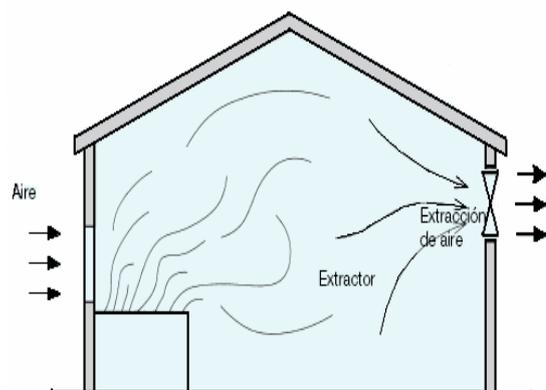


Fig.1.5d: Vent. Localizada [Ref. 1.7]

## **Normas Técnicas de Prevención- 672: Extracción localizada en el laboratorio.**

[Ref. 1.8]

El objetivo es captar el o los contaminantes en el lugar mas próximos posible, donde se genera el foco contaminante, evitando la difusión en el ambiente de trabajo. En esta norma se describen cuales son los cuatros elementos básicos de un sistema de extracción; campana, conducto, depurador y ventilador.

Todo sistema de extracción localizada requiere un diseño y unas características de funcionamiento que permitan el arrastre del contaminante a la velocidad necesaria, su vehiculación a través de la instalación a un caudal adecuado y un ventilador que proporcione dicho caudal venciendo la pérdida de carga ofrecida por el conjunto de la instalación, proporciona la diferencia que existe entre la extracción localizada sobre la ventilación por dilución, además de los tipos de vitrinas como: Vitrina sobresuelo. Vitrinas convencionales, Vitrinas de sobremesa, Vitrinas para almacenamiento.

### Ventajas de la extracción localizada

- capta el contaminante antes de que éste llegue a afectar el ambiente de trabajo.
- facilita mejor la depuración.
- evita el posible deterioro de equipos por contaminantes corrosivos.
- la posición de la campana debe estar fija, para evitar cualquier deterioro de sus componentes.
- teóricamente la velocidad de captación depende de la velocidad de producción del contaminante, recomendando velocidades que oscilan desde 1.5 – 2 m/s, en función de la naturaleza del polvo.

## Normas Técnicas de Prevención-607: Guía de calidad de aire interior: contaminantes químicos. [Ref. 1.9]

Esta información permite saber cual debe ser la calidad de aire dentro del área de trabajo y así evitar cualquier perjuicio a la salud del personal que se encuentra trabajando, para ello proporciona dos tablas informando la calidad de aire según la OMS.

TABLA 1.1. Estándares de la EPA de calidad de aire

Contaminante	Tiempo	Valor del estándar	Tipo de estándar
Monóxido de carbono (CO)	8 horas promedio	9 ppm (10 mg/m <sup>3</sup> )	Primario
	1 hora promedio	35 ppm (40 mg/m <sup>3</sup> )	Primario
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Media aritmética anual	0,053 ppm (100 µg/m <sup>3</sup> )	Primario y secundario
	1 hora promedio	0,12 ppm (235 µg/m <sup>3</sup> )	Primario y secundario
Ozono (O <sub>3</sub> )	8 horas promedio	0,08 ppm (157 µg/m <sup>3</sup> )	Primario y secundario
Plomo (Pb)	Promedio cuatrimestral	1,5 µg/m <sup>3</sup>	Primario y secundario
Partículas (PM 10)	Media aritmética anual	50 µg/m <sup>3</sup>	Primario y secundario
Partículas con diámetro de 10 micras o menos	24 horas promedio	150 µg/m <sup>3</sup>	Primario y secundario
Partículas (PM 2,5)	Media aritmética anual	15 µg/m <sup>3</sup>	Primario y secundario
Partículas diámetro de con 2,5 micras o menos	24 horas promedio	65 µg/m <sup>3</sup>	Primario y secundario
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Media aritmética anual	0,03 ppm (60 µg/m <sup>3</sup> )	Primario
	24 horas promedio	0,14 ppm (365 µg/m <sup>3</sup> )	Primario
	3 horas promedio	0,50 ppm (1300 µg/m <sup>3</sup> )	Secundario

- ❖ Tiempo; es tiempo en promedio que debe permanecer una persona dentro del ambiente.
- ❖ Valor del estándar; es el valor como máximo debe existir dentro del ambiente.

TABLA 1.2. Valores guía para "contaminantes clásicos", según la OMS, basados en efectos conocidos para la salud

Compuesto	Punto final sobre la salud	Valor guía ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición
Dióxido de azufre	Cambios en la función pulmonar en asmáticos.	500	10 minutos
		125	24 horas
	Aumento de los síntomas respiratorios en	50	1 año
Dióxido de nitrógeno	Ligeros cambios de la función pulmonar en asmáticos	200 (0,1 ppm)	1 hora
		40 (0,02 ppm)	1 año
Monóxido de carbono	Nivel crítico de COHb <2,5%	100.000 (90 ppm)	15 minutos
		60.000 (50 ppm)	30 minutos
		30.000 (25 ppm)	1 hora
		10.000 (10 ppm)	8 horas
Ozono	Respuestas de la función respiratoria	120	8 horas
Plomo	Nivel crítico de Pb en sangre <100-150 $\mu\text{g}$ Pb/l	0,5	1 año

Hasta el momento se ha descrito cuales son las causas y/o problemas de la combustión de productos, que puede ocurrir al realizar los diversos ensayos con los elementos actuantes (biomasa y carbón mineral). Debe existir un confort y bienestar dentro del laboratorio al momento de realizar los ensayos de combustión.

#### 1.4 Requerimientos del sistema de extracción.

Ninguna otra parte del trabajo conceptual es tan difícil como establecer los requerimientos del sistema de extracción entonces estos deben descubrir antes de empezar a construir cualquier sistema. Por ello en los siguientes puntos se describe los

requerimientos que se debe cumplir, a partir de ello satisfacer las necesidades que presenta el sistema de extracción.

- la instalación de la campana extractora localizada por las condiciones del ambiente y de trabajo debe ser fija, y debe operar a una presión negativa estática, de esta manera se genera un efecto de Venturi o succión hacia el exterior extrayendo los gases y partículas del foco contaminante.
- dimensiones del banco de combustión (ensayos) es  $90\text{cm}$  de largo y  $90\text{cm}$  de ancho con una altura promedio de  $100\text{cm}$ .
- distancia de la zona de generación de gases y partículas al ingreso de la campana es de  $30\text{cm}$ , ya que la línea de la campana están afectadas por la distancia a la boca de aspiración y por el área de aspiración.
- dimensiones del área de trabajo  $92\text{ m}^2$  (laboratorio).
- debido a la diversidad de pruebas que se realizan en el equipo deberá tener la posibilidad de trabajar con diversos caudales de extracción sin alterar los procesos de combustión que se dan en el banco de ensayos.
- tamaño de partículas a ser catatadas de  $0.01$  a  $1$  micras.
- el caudal con el material particulado, humos y vapores procedentes de la zona de captación debe ser transportado, filtrado y lavado para ser expulsado a la atmósfera con menor índice de contaminantes.
- el equipo deberá incluir un tablero de control; encendido y apagado del ventilador, regulación del caudal.

En base al requerimiento del sistema de extracción se selecciona y diseña los elementos que debe tener para un buen funcionamiento, por ello se realiza una pequeña descripción:

El encendido del sistema de extracción es manual (botón), la captura de los gases y partículas en el foco contaminante es mediante un campana localizada tipo Canopy, que es soportada por una estructura metálica fija, capturado los gases y partículas son conducidos y transportados por medios de conductos rectangulares (ductos y codos), los

conductos son sujetas mediante abrazaderas.

Para la succión de los gases y partículas se realiza mediante un ventilador centrífugos de alabes rectos y debe operar a una presión negativa estática, de esta manera se genera un efecto de Venturi, y es accionada por medio de un motor eléctrico.

La forma del regulador es de tipo mariposa y regulación del caudal se realiza por medio de una palanca (manualmente).

La limpieza de las partículas capturadas es mediante filtro de mangas y la limpieza de los gases es mediante un depurador



## Referencias Bibliográficas.

- [Ref.1.1]. [www.pucp.edu.pe](http://www.pucp.edu.pe), Mapa del campus de PUCP, dando la ubicación del Laboratorio de Carbón.
- [Ref.1.2]. [www.pucp.edu.pe/proyecto\\_carbon/index.html](http://www.pucp.edu.pe/proyecto_carbon/index.html), Combustibles alternativos (briquetas de carbón y cascarilla de arroz) y el equipo a utilizar en los ensayos.
- [Ref.1.3]. Normas Técnicas de Prevención (NTP-373): La Ventilación General en el Laboratorio.
- [Ref.1.4]. [www.solerpalau.es/formacion\\_01\\_02.html](http://www.solerpalau.es/formacion_01_02.html), Ventilación Sobre Presión. Soler & Palau. Catalogo.
- [Ref.1.5]. *Ibíd.*
- [Ref.1.6]. *Ibíd.*
- [Ref.1.7]. *Ibíd.*
- [Ref.1.8]. Normas Técnicas de Prevención (NTP-672): Extracción localizada en el laboratorio.
- [Ref.1.9]. Normas Técnicas de Prevención (NTP-607): Guía de calidad de aire interior: contaminantes químicos.

## CAPITULO 2

### Fundamento del sistema de extracción localizada

La selección y diseño de los elementos mecánicos y eléctricos del sistema de extracción se realiza en función a lo requerido. Los componentes del sistema a utilizar es; campana extractora localizada, sistema de conducción (forma y diámetro), ventilador centrífugo que permita evacuar los gases en el foco contaminador, separador que permita capturar las partículas y lavas los gases y finalmente el sistema eléctrico. Se dará las pautas para la selección y diseño de los elementos a utilizar integrando las necesidades que se requiere en el laboratorio de carbón.

#### 2.1 Ventilación aspectos generales.

La ventilación general tiene como objeto mantener la pureza del aire de un local determinado ya sea como suministro (inyección) o extracción, es decir, mantener la temperatura, velocidad del aire y un nivel de contaminantes dentro de los límites admisibles para preservar la salud de los trabajadores.

La cantidad de aire necesario va depender de factores como:

- dimensiones y características del local.
- actividad a que está destinado.
- calor a disipar o carga térmica.
- granulometría de los sólidos a transportar.

## 2.2 Ventilación localizada.

La ventilación localizada tiene por objeto extraer aire contaminado en el mismo sitio donde se produce la contaminación, es decir, en el foco contaminante impidiendo que se propague por todo el ambiente reduciéndose así la zona de dispersión. Para ello la elección del tipo de campana permite cuál es el área que abarca para la aspiración de las partículas en el foco contaminante.

En el siguiente diagrama de bloque se describe la secuencia como se efectúa el proceso desde la captura hasta la limpieza del aire.

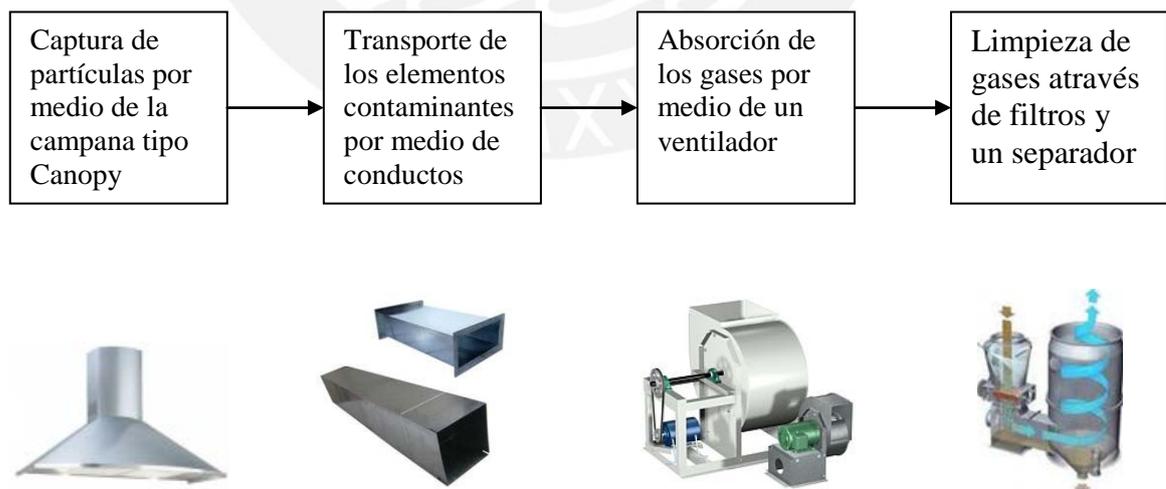


Figura 2.1. Figuras representativas del sistema de extracción.

### Componentes

- Campana: para la captación del contaminante en el foco.
- Conducto: para transportar el aire con el contaminante al sitio adecuado, evitando que se disperse en la atmósfera.
- Ventilador: para transmitir la energía necesaria al aire y hacerlo circular a través del sistema.
- Separador: para separar el contaminante del aire, recogiénolo de forma adecuada y liberar aire limpio.

La campana debe conectarse a una red de conductos que lleva el aire a un equipo de tratamiento para la retención de los contaminantes. Cuando estos sistemas aspiran aire contaminados con partículas, se los denominan de alta velocidad, porque se elige una velocidad adecuada en los conductos, que está en el rango de 15 m/s a 20 m/s [Ref. 2.1], que asegura el transporte neumático de las partículas y evita que se depositen en ellos, con la consecuente posibilidad de su obturación, es decir evitar excesivas pérdidas en la tubería y la sedimentación de partículas.

Seguida por la aspiración mediante un ventilador, ubicado en la parte exterior del laboratorio, de esa forma se logra que las partículas sean llevadas al equipo de tratamiento, donde quedan retenidas y tratadas para evitar su emisión al aire exterior, a través del conducto de descarga del sistema.

### 2.3 Sistema de extracción: matriz de decisión.

El sistema de extracción localizada se selecciona y se diseña para captar y eliminar los contaminantes antes de que se difundan al ambiente general del local de trabajo, es decir que la ubicación del sistema de extracción se encuentra cerca de los focos de generación contaminantes, para evitar la difusión de los gases generados; la mayor ventaja con

respecto a la ventilación general es que necesita menor requerimiento de aire y que no contribuye a expandir el contaminante.

La matriz de decisión es la que va a permitir saber cual es la mejor opción que se va a concretar respecto a las demás, pues se debe satisfacer las necesidades y requerimientos dentro del laboratorio para el confort y bienestar de las personas que se encuentran en el laboratorio. En las siguientes líneas se detallará los componentes del sistema elegidos, para luego realizar el dimensionamiento de cada una de ellas.

La campana tiene como función principal concentrar los gases emitidos en el foco generador de contaminante, ello depende del tipo de campana que se selecciona y diseña, para conducirlo al ducto de evacuación. Si la campana diseñada no cumple con su función de capturar los gases que se emiten del foco será nula la instalación.

Analizado los diferentes tipos de campanas y considerando las exigencias del sistema, la mejor opción es el diseño de la Campana Canopy, ya que permite la captura de los gases emitidos en el foco contaminante y evita que se dispersen en el ambiente, abarcando en su totalidad el área del foco contaminante. En la figura 2.2, se ilustra la campana tipo Canopy. Por lo que el coeficiente de entrada a la campana, que es la pérdida a la entrada de la campana es de 0.49 [Ref. 2.2].

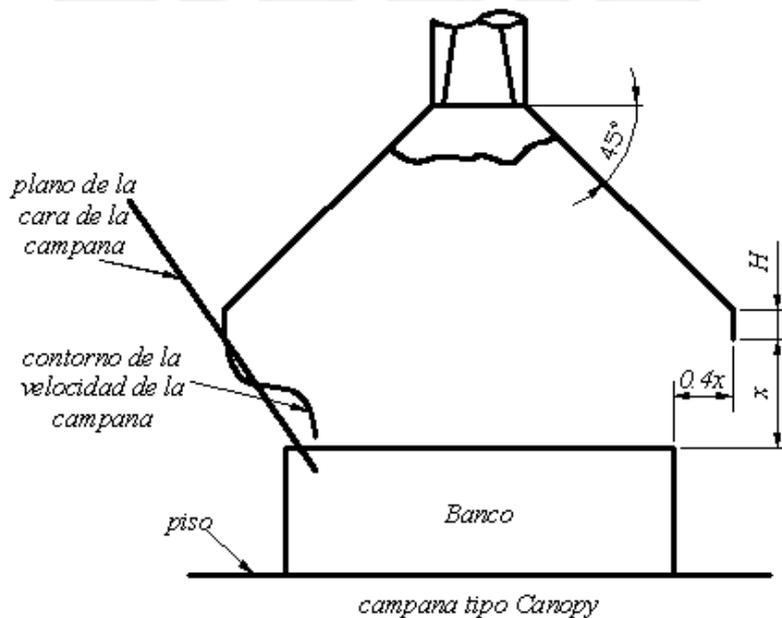


Figura 2.2. Campana Canopy Típico.

La selección de la campana tipo Canopy Típico, es por que su función es atrapar los gases y partículas que se pretenden extraer del banco de pruebas, es considerada un recinto sin paredes, su principal aplicación se da en procesos en ambientes calientes; en donde la convección produce un empuje vertical al contaminante. El caudal aumenta a medida que aumenta la temperatura de los procesos y la distancia del banco de prueba. Se recomienda que la altura recta (H) de la campana tenga un rango de  $1\text{pu lg}$  a  $5\text{pu lg}$  [Ref. 2.3], entonces la altura recta de la campana debe ser  $H = 70\text{mm}$

Para calcular el caudal de operación, se sigue los requerimientos del diseño, como la velocidad de captura y la distancia de la campana al banco de prueba, para el cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{10x^2 + a} \quad (2.1)$$

donde

$Q$  : caudal en  $\text{pies}^3/\text{min}$ .

$V$  : velocidad de captura en  $\text{pies}/\text{min}$ .

$a$  : área de la campana en  $\text{pies}^2$ .

$x$  : distancia de la campana al banco de prueba en pies. (Por dato es  $30\text{cm}$  ó  $0.98\text{pie}$ ).

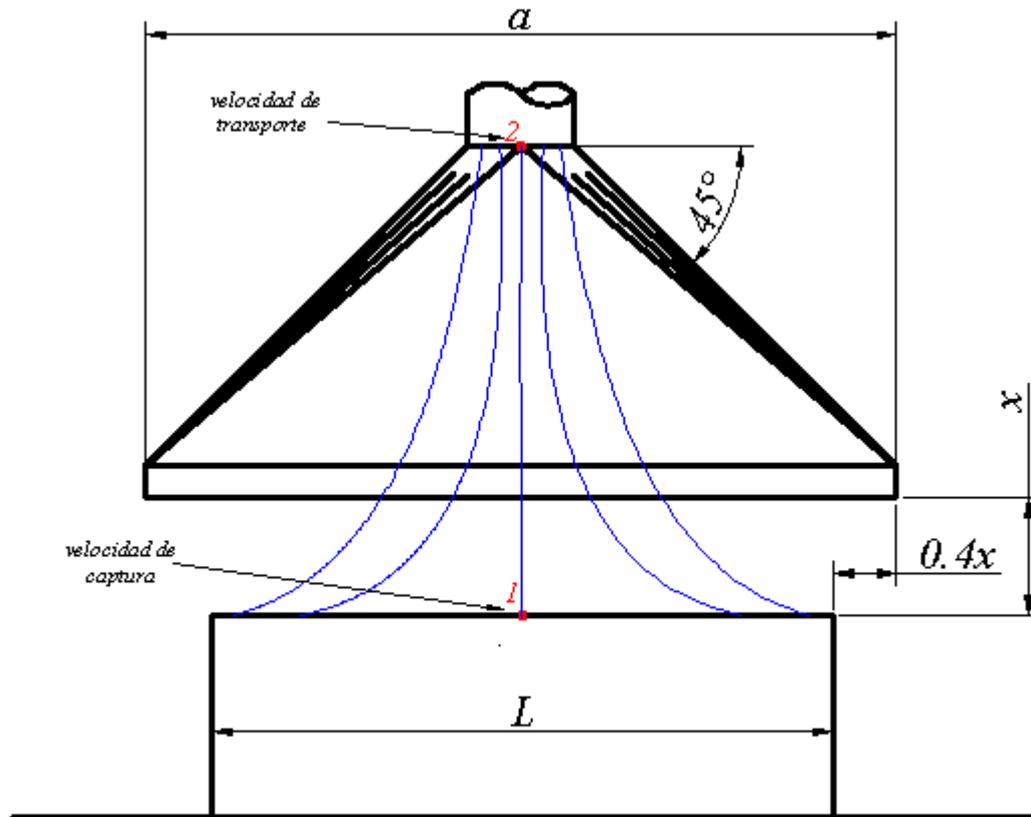


Figura 2.3. Campana Canopy, dimensiones de la campana [Ref. 2.4]

Entonces el área de la campana debe abarcar todo el banco de pruebas e incluso, un poco más, es decir, la campana será cuadrada (por que los lados de banco de ensayos es de igual medida), a cuatro aguas para tener una mejor distribución del flujo de vapor, como se muestra en la figura 2.3. El área de la campana vista alzada es:

$$a = (L + 0.8x)^2 \quad (2.2)$$

donde

$L$  : longitud del banco de pruebas. (Por dato 0.9 m).

Como se mencionó con anterioridad, la velocidad en la entrada de la campana se mide sobre del banco de pruebas, el cual no sólo depende de la distancia al banco de pruebas, sino también del área de la campana. La velocidad que inicie el movimiento de las partículas y de los vapores hacia la campana, y a medida que se acerca a la boca de la campana, la velocidad irá aumentando y conduciéndolo través de la ruta especificada.

En las siguientes figuras se observa los campos de velocidades representados mediante superficies isocinéticas y líneas de flujo.

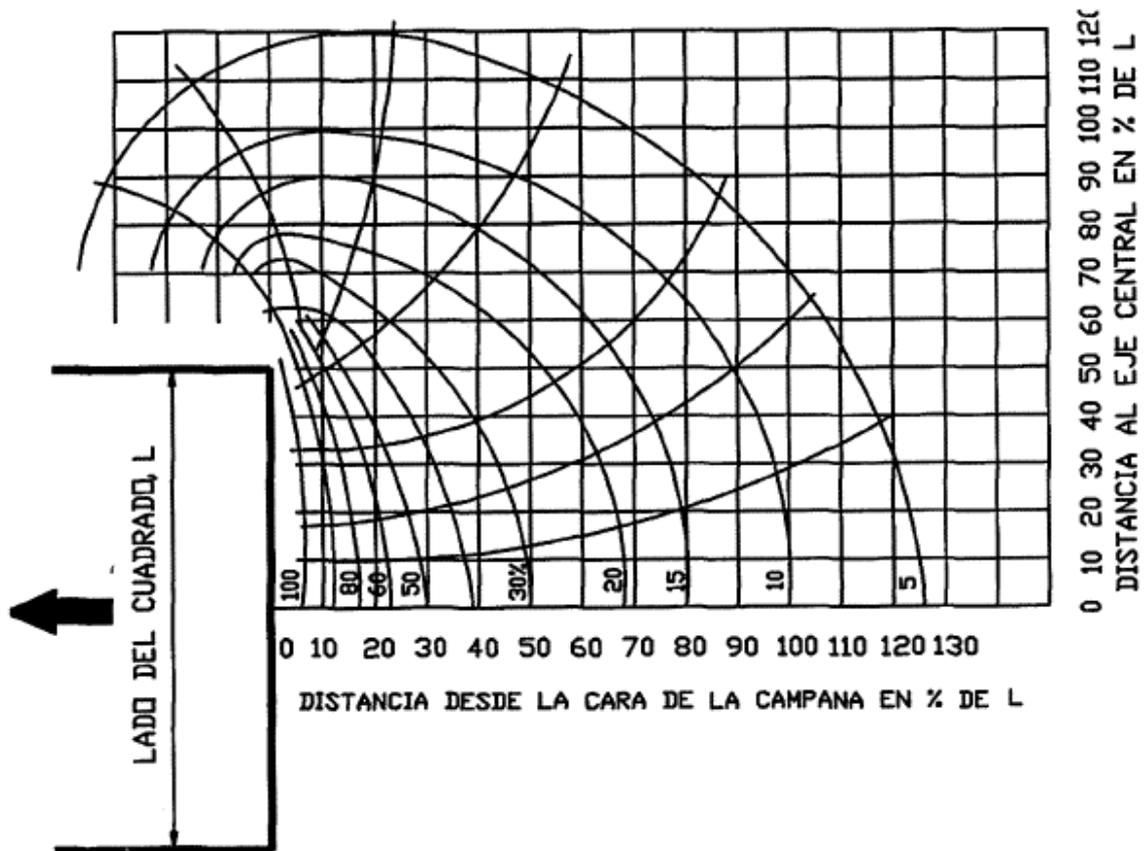


Figura 2.3. Líneas de flujo e isocinéticas correspondientes a un plano de simetría de una entrada, El porcentaje de las líneas isocinéticas se refiere al valor de la velocidad respecto a la de entrada en la conducción. [Ref. 2.5]

Con la siguiente ecuación se obtiene un porcentaje de la velocidad de captura sobre el banco de ensayos (ver figura 2.3) respecto a la velocidad de la campana, al momento de iniciar el movimiento de los gases y partículas hacia la campana y a medida que se acerca a la boca de la campana la velocidad irá aumentando siendo conducida a través de la ruta estipulada.

$$\frac{y}{100 - y} = \frac{0,1a}{x^2} \tag{2.3}$$

El ingreso de los gases en la campana, extraído del foco contaminante hace que exista una pérdida de presión estática, que depende de las velocidades de ingreso y salida de los gases extraídos, de la densidad de aire y de una constante de pérdida, la cual es calculada por la siguiente ecuación.

$$h_{w.campana} = C_e \cdot \frac{(V_{entrada\ campana}^2 - V_{salida\ campana}^2)}{2 \cdot g} \quad (2.4)$$

donde

$h_{w.campana}$  : pérdida en la campana (*m.c.aire*).

$V_{entrada\ campana}$  : velocidad de entrada a la campana (*m/s*).

$V_{salida\ campana}$  : velocidad de salida de la campana (*m/s*).

$C_e$  : coeficiente de entrada a la campana 0.49 [Ref. 2.6]

#### 2.4 Tubería de transporte.

También es un sistema de extracción localizada por donde se transporta el flujo de gases y partículas que han sido atrapadas desde la campana, además tiene ruta definida. Pueden ser ductos circulares, ductos rectángulos y ductos cuadrados, por lo que destaca los ductos circulares, permitiendo una distribución más uniforme de la velocidad, lo cual impide el depósito del material.

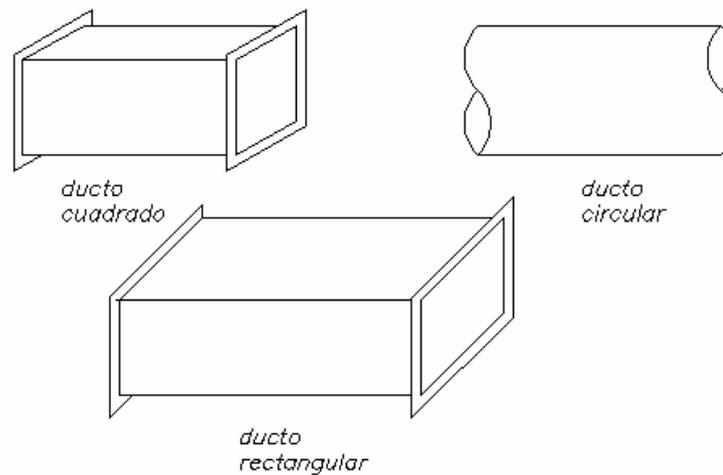


Figura 2.4 Diferentes tipos de ductos

- a. Los conductos son importantes por los siguientes aspectos:
  - Para la extracción de polvo, tener presente que la velocidad del conducto debe ser lo bastante alta límite para evitar la sedimentación del polvo que obstruya en medio transporte.
  - No basta que tenga la velocidad necesaria para la extracción de gases sino hacer un balance económico entre el costo del conducto, el ventilador y el costo del motor que se va utilizar.
- b. La localización y construcción del conducto, deben estar previstos los medios de protección necesarios para evitar la corrosión, no basta que se compre un material anticorrosivo, pues disminuirá la vida del sistema de extracción y pasado el tiempo es un costo innecesario.
- c. El material para la tubería es de acero galvanizado por su gran resistencia a la abrasión, cubrimiento de esquinas y bordes como también a la corrosión tiene un coeficiente de rugosidad de  $k = 0.15mm$  [Ref. 2.7]

El término de diámetro hidráulico se determina cuando se maneja fluidos en canales y tubos no circulares, el uso de este término puede estudiar el comportamiento del flujo de la misma forma como si fuera una tubería de sección circular, por definición:

$$D_H = \frac{4A}{P} \quad (2.5)$$

donde A es el área de la sección transversal del conducto y P es el perímetro mojado, entonces:

para una sección circular, el diámetro hidráulico es el mismo diámetro del ducto circular:

$$D_H = \frac{4 \frac{\pi D^2}{4}}{\pi D} = D \quad (2.6)$$

y para un conducto de sección rectangular:

$$D_H = \frac{4LW}{2(L+W)} = \frac{2LW}{L+W} \quad (2.7)$$

para el caso especial de un conducto cuadrado, donde  $L=W$ , entonces  $D_H = L$ .

El área de la tubería, esta en función del caudal y de velocidad de entrada, que se determina con la siguiente ecuación.

$$A_{ducto} = \frac{Q}{V_{entrada\ ducto}} \quad (2.8)$$

donde

$$A_{ducto} = \frac{\pi \cdot D_H^2}{4} \quad (2.9)$$

Igualando las ecuaciones 2.8 y 2.9, se obtiene el diámetro del ducto, como se muestra en siguiente ecuación.

$$D_H = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_{entrada\ ducto}}} \quad (2.10)$$

donde

$Q$  : caudal ( $m^3/s$ ).

$A_{ducto}$  : área de la campana ( $m^2$ ).

$D_{ducto}$  : diámetro del ducto ( $m$ )

$V_{entrada\ ducto}$  : velocidad de entrada o transporte 3000-4500 *pies*/min . [Ref. 2.8]

Para el cálculo de pérdida en el ducto, se utiliza el Método de Darcy. Las consideraciones que se debe realizar son:

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{V \cdot D_H}{\nu} \quad (2.11)$$

Coefficiente de Pérdidas:

$$\xi = f(Re; k / D_H) \quad (2.12)$$

Método de Darcy:

$$h_{w.ducto} = \xi \frac{V^2 \cdot L_{ducto}}{2 \cdot g \cdot D_H} \quad (2.13)$$

donde:

$V$  : velocidad del aire extraído ( $m/s$ ).

$D_H$  : diámetro del ducto ( $m$ ).

$\nu$  : viscosidad cinemática ( $m/s^2$ ).

$L_{ducto}$  : longitud de un ducto ( $m$ ).

$h_{w.ducto}$  : pérdidas en los ductos (*m.c.aire*).

2.5 Codos.

Además de ser un medio de transporte, la función del codo es el cambio de dirección del flujo de aire transportado a la dirección que se requiera. Dependiendo del tipo de codo existirá mayor o menor pérdida, como pueden ser codos rectos (para mitigar la pérdida de carga, en este codo hay que dotarlo de aletas directrices, dos, tres o más, uniformemente distribuidas y que se extiendan por toda la curvatura del codo, donde las directrices pueden ser de grosor uniforme, de plancha o bien adoptar perfiles aerodinámicos, ya que su construcción es más tediosa), codo normal a 90° atornillado, codo atornillado a 90° de radio largo, codo normal a 90° y codo a 90° de radio largo. El coeficiente de pérdida del codo  $k_1 = 0.25$  [Ref. 2.9].

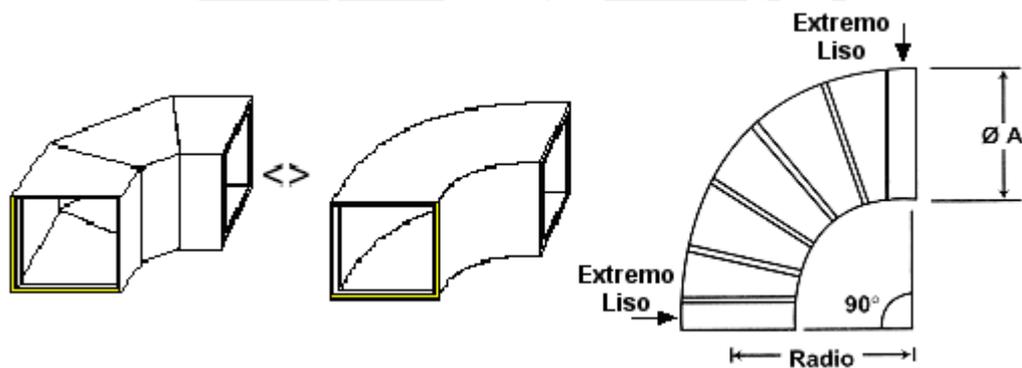


Figura 2.5: Representación de codo recto a 90° de radio largo, en la parte superior y codo recto a 90° de radio corto, en la parte inferior.

La pérdida de presión estática en los codos se determina por la ecuación

$$h_{w.codos} = \sum k_1 \frac{V^2}{2.g} \tag{2.14}$$

Donde

- $h_{w.codos}$  : pérdidas en los codos (*m.c.aire*).
- $V$  : velocidad del aire extraído (*m/s*).

## 2.6 Tiro de chimenea.

Es la parte de la tubería, que esta colocada luego del ventilador o después de la limpieza del aire. Su longitud es recomendada por los manuales de ventilación y su función es la de no permitir que el flujo de aire del exterior ingrese a la tubería, y que los gases y partículas extraídas regresen a través de la ruta.

Al final del tiro de la chimenea se coloca el accesorio weather cap o sombrero chino, la función es proteger al ventilador contra la lluvia, evitando que esta entre al sistema eléctrico.

## 2.7 Ventiladores.

El elemento fundamental del sistema de extracción es el ventilador. Un ventilador es una turbo-máquina de fluido para gases que transforman la energía mecánica.

A pesar de que no existe convenio alguno universalmente adoptado, los ventiladores pueden subdividirse en cuatro grupos, estos datos son obtenidos de Marks [Ref. 2.10].

- ventiladores de baja presión: hasta una presión del orden 200 mm c agua (ventiladores propiamente dichos).
- ventiladores de media presión: entre 200 y 800 mm c agua (soplantes).
- ventiladores de alta presión: entre 800 y 2500 mm c agua (turbo-soplantes).
- ventiladores de muy alta presión , mayor a 2500 mm c agua (turbocompresores)

En función de la trayectoria del fluido, todos estos ventiladores se pueden clasificar en:

- de flujo radial (centrífugos).
- de flujo semiaxial (helico-centrífugos).
- de flujo axial

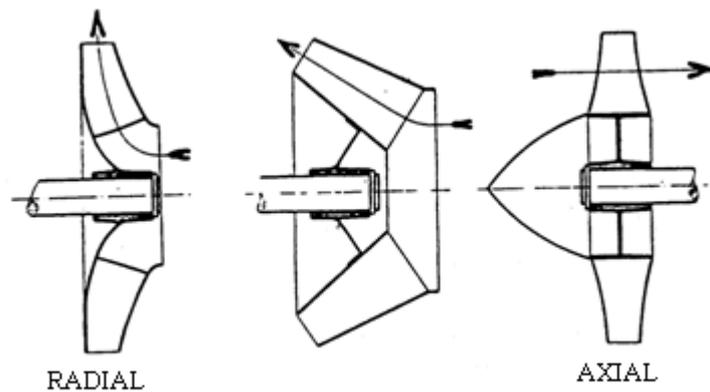


Fig. 2.6: Configuración típica de sendos rodets: radial, semiaxial y axial.

### 2.7.1 Ventiladores radiales (centrífugos).

En los ventiladores centrífugos la trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada para luego seguir la trayectoria radial. Estos ventiladores tienen tres tipos básicos de rodets:

- a) *Alabes curvados hacia delante* (también se llaman de jaula de ardilla). Tienen una hélice o rodete con los álabes curvados en el mismo sentido de la dirección de giro. Estos ventiladores necesitan poco espacio, baja velocidad periférica y son silenciosos. Se utilizan cuando la presión estática necesaria es de baja a media, tal como la que se encuentran en los sistemas de calefacción, aire acondicionado o renovación de aire, etc. No es recomendable utilizar este tipo de ventilador con aire polvoriento, ya que las partículas se adhieren a los pequeños álabes curvados y pueden provocar el desequilibrado del rodete.

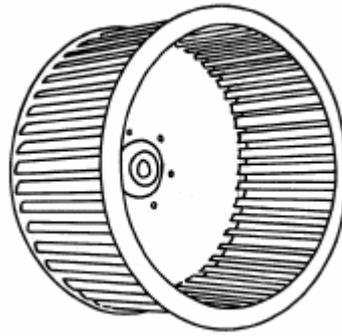


Figura 2.7a. Rotor de alavés curvos adelantados

- b) *Alabes curvados hacia atrás.* Tienen un rodete con las álabes inclinados en sentido contrario al de rotación. Este tipo de ventilador es el de mayor velocidad periférica y mayor rendimiento con un nivel sonoro relativamente bajo y una característica de consumo de energía del tipo "no sobrecargable". Usualmente se coloca luego que el flujo a pasada por un sistema de control de contaminación para evitar el deterioro de los álabes o por diversos motivos como corrosión o erosión.

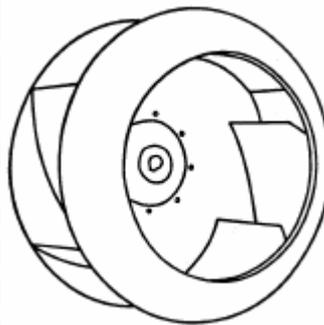


Figura 2.7b. Rotor de alavés curvo atrasado (para manejo de aire limpio).

- c) *Alabes rectos.* Tienen el rodete con los álabes dispuestas en forma radial. La disposición radial de los álabes evita la acumulación de materiales sobre las mismas. Este tipo de ventilador es el comúnmente utilizado en las instalaciones de extracción localizada en las que el aire contaminado con partículas debe circular a través del ventilador. En este tipo de ventiladores la velocidad periférica es media y se utilizar en muchos sistemas de extracción localizada que vehicular aire sucio o limpio, la desventaja eficiencia mediana.

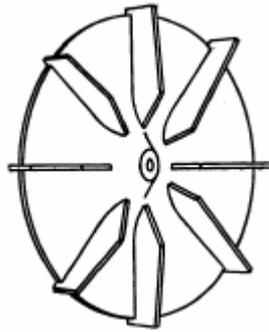


Figura 2.7c. Rotor de alavés curvo recto radial (para manejo, transporte de materiales y autolimpieza)

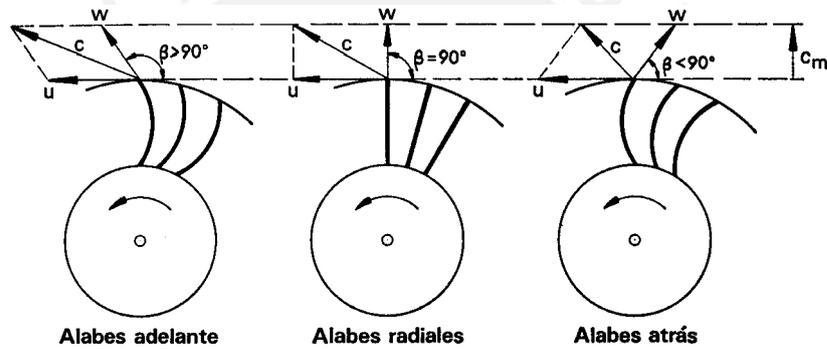


Fig. 2.8 Triángulos de velocidades a la salida para los distintos rodetes centrífugos

donde

- $\bar{c}$  : velocidad absoluta del fluido.
- $\bar{u}$  : velocidad del rotor.
- $\bar{w}$  : velocidad relativa del fluido.

### 2.7.2 Ventiladores axiales

Existen tres tipos básicos de ventiladores axiales: helicoidales, tubulares y tubulares con directrices.

- a) Los *ventiladores helicoidales*; se emplean para mover aire con poca pérdida de carga, y su aplicación más común es la ventilación general. Se construyen con dos tipos de álabes: alabes de disco para ventiladores sin ningún conducto; y álabes estrechas para ventiladores que deban vencer resistencias bajas (menos de 25 mm.c.aire). Sus prestaciones están muy influenciadas por la resistencia al flujo del aire y un pequeño incremento de la presión provoca una reducción importante del caudal.
- b) Los *ventiladores tubulares*; disponen de una hélice de álabes estrechos de sección constante o con perfil aerodinámico (ala portante) montada en una carcasa cilíndrica. generalmente no disponen de ningún mecanismo para ende rezar el flujo de aire. Los ventiladores tubulares pueden mover aire venciendo resistencias moderadas (menos de 50 m.c.aire ).
- c) Los *ventiladores tubulares con directrices*; tienen una hélice de álabes con perfil aerodinámico (ala portante) montado en una carcasa cilíndrica que normalmente dispone de aletas enderezadoras del flujo de aire en el lado de impulsión de la hélice. En comparación con los otros tipos de ventiladores axiales, éstos tienen un rendimiento superior y pueden desarrollar presiones superiores (hasta 200 m.c.aire ). Están limitados a los casos en los que se trabaja con aire limpio.

Las directrices tienen la misión de hacer desaparecer la rotación existente o adquirida por el fluido en la instalación, a la entrada del rodete o tras su paso por el mismo. Estas directrices pueden colocarse a la entrada o a la salida del rodete, incluso las hay móviles. Han de ser calculadas adecuadamente pues, aunque mejoran las características del flujo del aire haciendo que el ventilador trabaje en mejores condiciones, producen una pérdida de presión adicional que puede condicionar el resto de la instalación. Además, pueden ser contraproducentes ante cambios importantes del caudal de diseño.

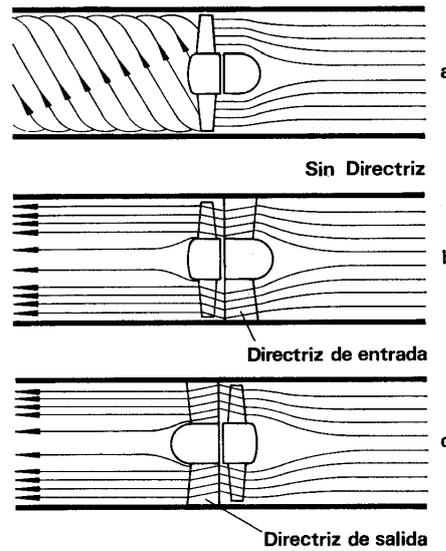


Fig. 2.9. Efecto de las directrices sobre las líneas de corriente a entrada y salida del rodete axial

En el sistema de extracción localiza (ver figura 2.10), como es el propuesto para el laboratorio, la potencia del ventilador debe ser capaz de provocar el vacío, y también debe vencer las pérdidas generadas por el flujo de aire. Aplicando la ecuación de Bernoulli se determina las pérdidas de todo el sistema (ducto, codo y campana).

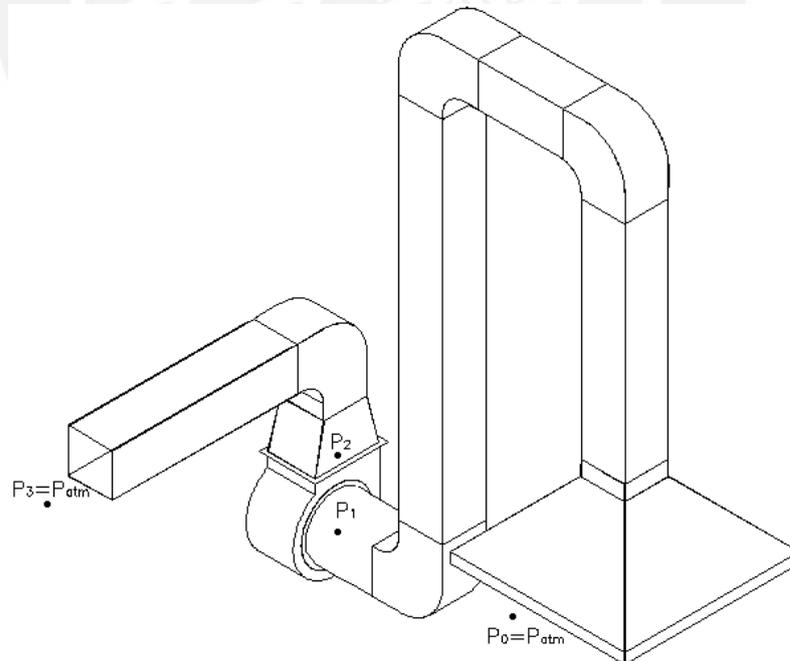


Fig. 2.10. Esquema gráfico del funcionamiento del sistema de extracción.

$$\frac{P_3 - P_0}{\rho_{\text{aire}} \cdot g} + \frac{1}{2g} (V_3^2 - V_0^2) + (Z_2 - Z_0) + h_{\text{pérdidas.totales}} = H_{\text{man.sistema}} \quad (2.15)$$

despreciando la diferencia de posición, se obtiene la ecuación,

$$\frac{1}{2g}V_3^2 + h_{pérdidas.totales} = H_{man.sistema} \quad (2.16)$$

además

$$h_{pérdidas.totales} = h_{w.campana} + h_{w.codos} + h_{w.ductos} \quad (2.17)$$

reemplazando la ecuación (2.16) en la ecuación (2.15) se obtiene;

$$H_{man.sistema} = \frac{V_3^2}{2g} + h_{w.campana} + h_{w.codos} + h_{w.ductos} \quad (2.18)$$

donde

$V_3$  : velocidad en el ducto ( $m/s$ ).

$h_{w.campana}$  : pérdida en la campana ( $m.c.aire$ ).

$h_{w.codos}$  : pérdida en los codos ( $m.c.aire$ ).

$h_{w.ductos}$  : pérdida en los ductos ( $m.c.aire$ ).

$H_{man.sistema}$  : pérdida del sistema ( $m.c.aire$ ).

$\rho_{aire}$  : densidad del aire  $1.2 \text{ kg} / \text{m}^3$ .

La selección de la potencia del ventilador que satisface los requerimiento que se debe obtener, se determina con la ecuación siguiente, además depende de la eficiencia del ventilador (ventilador axial, radial, o centrífugos).

$$W_t = \frac{\rho_{aire} \cdot g \cdot Q \cdot H_{mansistema}}{\eta_{ventilador}} \quad (2.19)$$

donde

$W_t$  : potencia del ventilador ( $W$ ).

## 2.8 Separadores.

Capturado y transportado el aire contaminado por medio de un sistema de conducción viene ahora la limpieza del aire, es decir separar al contaminante del aire. Este proceso se realiza por medio de separadores, el cual permite aislar los contaminantes con mayor eficiencia y con el menor consumo de energía, dependiendo del tipo de separador que se va a seleccionar.

Los procesos que se realiza en el Laboratorio tiene como resultado la emisión de gran cantidad de vapor y humos tóxicos como el dióxido de azufre ( $SO_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), monóxido de carbono ( $CO$ ), dioxina, y demás componentes. La mejor opción para la absorción de todos los gases contaminantes son los filtros de mangas (fibra de polipropileno), por su resistencia química (bases excelente, oxidante baja y hidrólisis buna), buena resistencia a la tracción y el buen trabajo constante a temperatura altas [Ref. 2.11].

### 2.8.1 Filtro de mangas

Los filtro de mangas son capaces de recoger altas cargas de partículas resultantes de procesos industriales de muy diversos sectores, tales como cemento, yeso, cerámica, caucho, coque, petroquímica, siderúrgica, cal, minería, etc. Durante el proceso de separación del aire se genera la necesidad de realizar la limpieza cada periodo. Los filtros deben limpiarse periódicamente utilizando los siguientes métodos:

- Limpieza sónica.
- Limpieza por hamaqueo o agitación.
- Limpieza por inversión de flujo o oscilación
- Limpieza por choro pulsante.

En la figura 2.11 se muestra mangas representando filtros por limpieza sónica, por hamaqueo, por inversión de flujo y un filtro de mangas por choro pulsante.

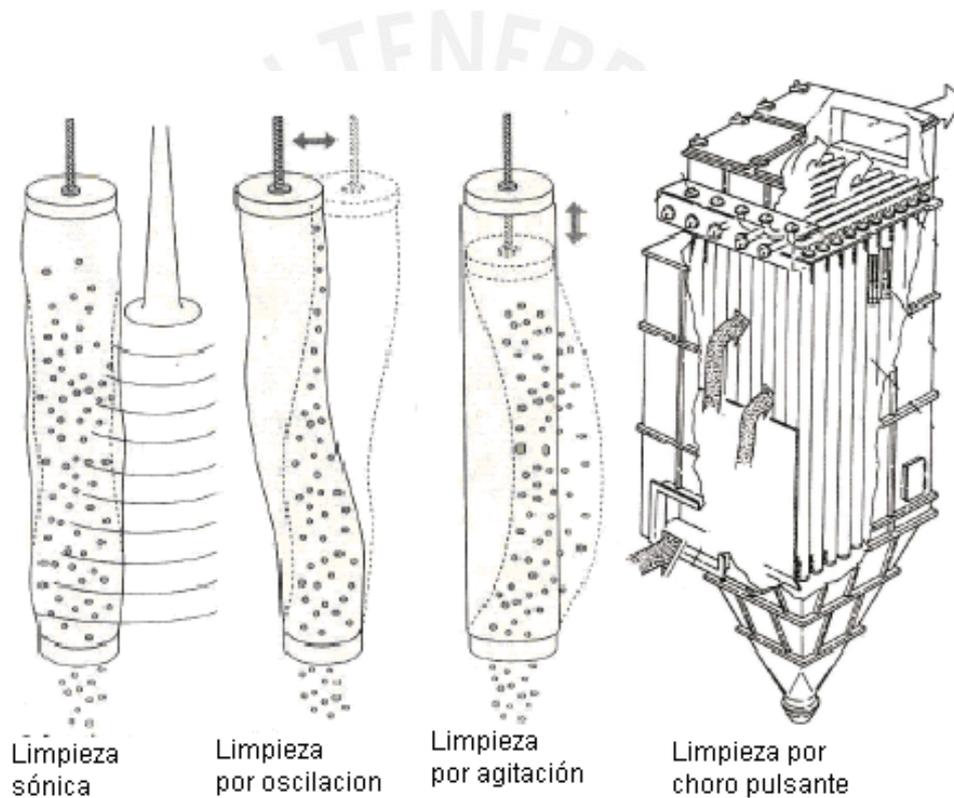


Fig. 2.11. Filtros de mangas.

La selección de un filtro de manga es necesario determinar el área específica; para lo cual se debe tomar en consideración los siguientes aspectos:

- Tipo de polvo tipo de uso de la instalación de filtrado
- Temperatura del gas o aire
- Granulometría del polvo

- Contenido de polvos en el gas o aire.

a. Caída de presión de filtro de mangas

La caída de presión total en un filtro de mangas comprende la caída de presión debido al flujo que ingresa y sale por los ductos de entrada y salida, la caída de presión del compartimiento donde están alojadas las mangas, y la caída de presión a lo largo de las mangas. Los valores aceptables de la caída de presión total en un filtro de mangas pueden estar en el siguiente rango Ref. [2.10]:

$$\Delta P = 75 \text{ a } 150 \text{ mm H}_2\text{O}$$

b. Materiales usados en las mangas.

En la mayoría de aplicaciones para limpieza de aire, es común utilizar mangas de algodón tejido en filtros con mecanismos de agitación y de inversión de flujo, y materiales sintéticos para diseños de chorro pulsante o pulse-jet. Con la introducción de nuevos materiales capaces de soportar altas temperaturas, se ha podido aplicar filtros de mangas en la limpieza de gases a altas temperaturas (ver Ref. [2.11]). En la tabla 2.1 se muestra las características de los materiales más comunes utilizados para la limpieza de gases.

Tabla 2.1. Materiales para filtros de mangas. Ref. [2.13]

Características de materiales para mangas de colección

Fibra	Temperatura máxima de operación	Resistencia Ácida	Resistencia Alcalina	Resistencia a la abrasión
Algodón	180°F	Baja	Muy buena	Muy buena
Lana	200°F	Muy buena	Baja	Buena
Nylon	200°F	Bueno	Excelente	Excelente
Nomex	425°F	Bueno	Muy bueno	Muy bueno
Acrílico	260°F	Excelente	Bueno	Bueno
Polipropileno	200°F	Excelente	Excelente	Excelente
Poliétileno	150°F	Excelente	Excelente	Muy bueno
Teflón	500°F	Excelente	Excelente	Bueno
Fibra de vidrio	550°F	Bueno	Bueno	Regular
Filtron	270°F	Bueno a excelente	Bueno	Bueno a muy bueno
Poliéster	275°F	Bueno	Bueno	Bueno
Dynel	160°F	Excelente	Excelente	Muy bueno

El área filtrante total o área total de la tela necesaria para poder separar satisfactoriamente el polvo del flujo de gas se determina multiplicando un factor por el área neta de la tela. El área neta es el área activa en operación en un momento dado, mientras que el área total es el área empleada en el filtro que incluye área que puede salir de servicio en un momento dado por mantenimiento o limpieza.

El área neta ( $A_n$ ) de la tela esta dado por la siguiente fórmula:

$$A_n = \frac{Q}{K_A} \quad (2.20)$$

donde

$Q$  : caudal de gas o aire, ( $m^3/\text{min}$ ).

$K_A$  : carga específica, ( $(m^3/\text{min})/m^2$ ).

Todos estos aspectos influyen directamente sobre la carga y se pueden correlacionar mediante factores según la siguiente expresión:

$$K_A = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \quad (2.21)$$

Carga específica ( $K_A$ )

Representa el caudal de gas o aire que fluye através de la unidad de área de material para una caída de presión específica; por lo general se expresa en  $(m^3/\text{min})/m^2$ .

Factor de material ( $K_1$ )

Considera las propiedades y características del material que influyen en la formación del queque durante el proceso de filtrado y de limpieza de las mangas.

Tabla 2.2. Factor de material. Ref. [2.14]

Factor, $k_1$				
15	12	10	9	6
Mezcla de queque	Asbesto	Alumina	Tintes	Carbón activado
Polvo de cartón	Materiales fibrosos	Carbón fino	Polvo de metal	Carbón negro
Cocoa	Yeso	Cemento	Óxidos de metal	Detergentes
Alimentos	Cal	Pigmento cerámico	Pigmentos	Humos
Harina	Sal	Polvo de ladrillo	Plásticos	Leche en polvo
Granos	Arena	Polvo de arcilla	Resinas	Jabones
Polvo de cuero	Talco	Carbón	Silicatos	
Tabaco		Caolín	almidón	
		Caliza		
		Polvo de minerales		
		Sílice		
		Azúcar		

Factor de uso ( $K_2$ )

Considera el tipo de proceso de suministro de polvo al filtro de manga y los inconvenientes que ocasionan las variaciones de la carga de polvo.

Tabla 2.3. Factor de uso. [Ref. 2.15].

Proceso	Factor $k_2$
Alivio de puntos de transferencia, Transportadores, Estaciones de empaque, etc.	1.0
Recolección de productos	0.9
Sistemas de ventilación en molienda, secadores, clasificadores, etc.	0.8
Procesos de filtración de gas	0.8
Secadores de rocío, hornos, reactores, etc.	

Factor de temperatura ( $K_3$ )

Considera el aumento de la viscosidad del aire a altas temperaturas.

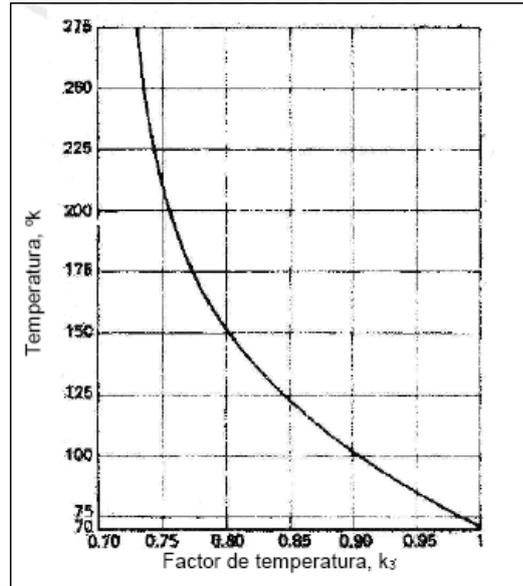


Fig. 2.12. Factor de Temperatura. [Ref. 2.16].

Factor de tamaño de partículas ( $K_4$ )

Considera la tendencia de las fumarolas y polvos finos a obstruir las telas más rápidamente que las partículas gruesas

Tabla 2.4. Factor de tamaño de partículas. [Ref. 2.17].

Tamaño	Factor $k_4$
Mayor a 100 micrones	1.2
Entre 50 y 100 micrones	1.1
Entre 10 y 50 micrones	1.0
Entre 3 y 10 micrones	0.9
Menor a 3 micrones	0.8

Factor de contenido de Polvo ( $K_5$ )

Considera el efecto de la carga de polvo sobre la tasa de filtrado

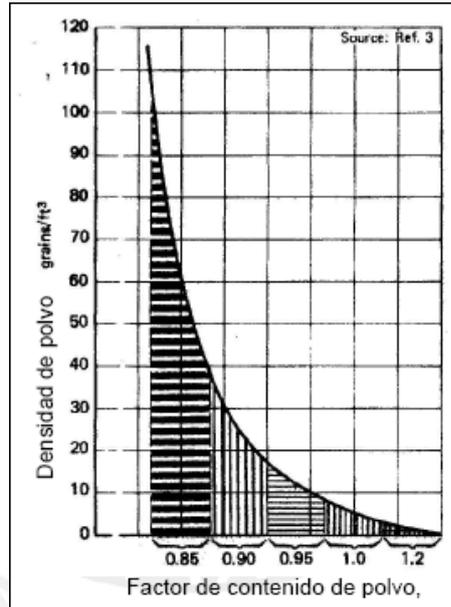


Figura 2.13. Factor de contenido de Polvo. [Ref. 2.18].

### 2.8.2 Lavadores húmedos (SCRUBBERS)

La absorción de un gas por un líquido depende que se logre un íntimo contacto entre el gas y líquido. Para lograr tal contacto, se debe maximizar las superficies de exposición del gas y/o del líquido. Conceptualmente esto se lleva a cabo rompiendo el líquido en finas gotas que serán dispersadas a través del volumen de gas, tal como ocurre en las torres de ducha, o rompiendo el gas en pequeñas burbujas que pasarán a través de un volumen de líquido, como ocurre en las torres de burbujeo, o dividiendo el líquido en una infinidad de películas delgadas de agua, de baja velocidad, tal como ocurre en las torres de relleno. Existen diferentes tipos de lavadores:

- Cámara de atomización.
- Depuradores de lecho empacado.
- Depurador con placas.
- Depurador con ayuda mecánica.
- Depurador Venturi.
- Depurador con orificio.
- Depurador por condensación.
- Depurador por fibra.

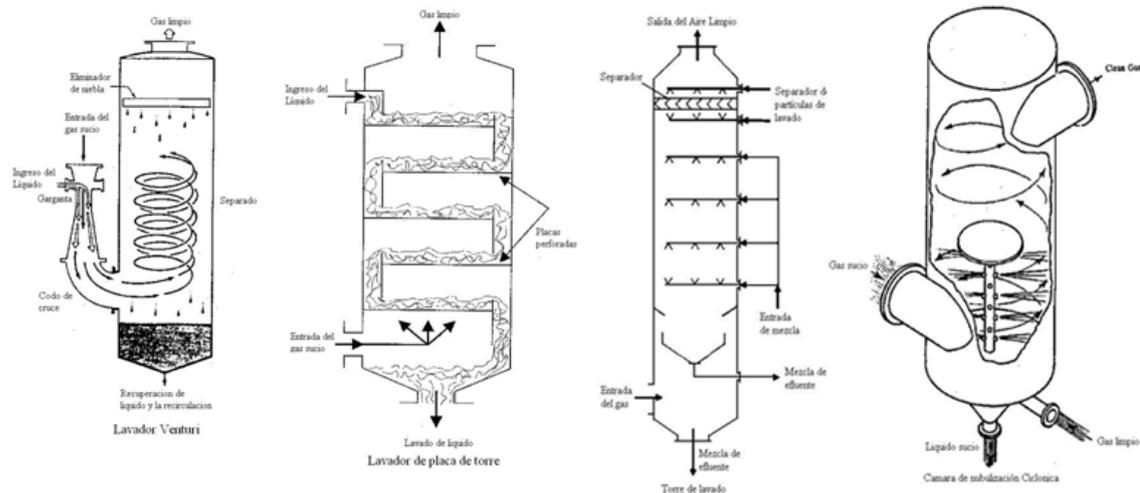


Figura 2.14. Depuradores de limpieza.

### Principio de operación del lavador Venturi

Un Venturi o un aerosol de gas atomizado, depurador aceleran la corriente de gas para atomizar el lavado líquido y para mejorar el contacto gas-líquido. En un depurador tipo Venturi, una garganta está integrada en el conducto que las fuerzas de la corriente de gas para acelerar el conducto se estrecha y se expande. A medida que el gas entra en la garganta del Venturi, tanto la velocidad del gas se encuentra con la garganta del Venturi. El líquido de lavado es entonces atomizado en pequeñas gotas por la turbulencia en la garganta y la interacción gota de partículas es mayor. Después de la garganta sección un depurador Venturi, la partícula es mojado y el exceso de gotas de líquido se separa del gas corriente por el movimiento ciclónico y/o un eliminador de niebla. Los depuradores Venturi tiene la ventaja de ser diseño sencillo, fácil de instalar y con bajos requerimientos de mantenimiento. En la siguiente figura se muestra un depurador Venturi.

El rendimiento de un depurador Venturi depende en cierta medida de la velocidad del gas a través de la garganta. Varios depuradores Venturi han sido diseñados para permitir el control de velocidad mediante la variación de la anchura de la garganta del Venturi. Debido a la alta interacción entre el partículas y las gotas, Venturi Los depuradores son capaces de eficiencias de recolección de alta a las partículas pequeñas. Por desgracia, el

aumento del Venturi la eficiencia del depurador requiere el aumento de la caída de presión que, a su vez, aumenta la energía el consumo.

## 2.9 Sistema eléctrico.

El sistema eléctrico es un conjunto de dispositivos cuya función es proveer la energía necesaria para el arranque y correcto funcionamiento de los accesorios eléctricos o electrónicos tales como luces, motor y diversos instrumentos. El diseño o la selección del sistema eléctrico es proveer energía aún en las peores condiciones de operación. Los elementos actuando son tales como motor eléctrico, fusibles, cables (calidad y resistencia), caja y tablero eléctrico. Etc.

### 2.9.1 Conductores eléctricos.

Se aplica este concepto a los cuerpos capaces de conducir o transmitir la electricidad; esta formado primeramente por el conductor propiamente tal, usualmente de cobre. El cobre constituye el elemento principal en la fabricación de conductores por sus notables ventajas mecánicas (resistencia al desgastes, maleabilidad) y eléctricas (capacidad de transportar la electricidad).

La seguridad y la opresión esta relacionada con la calidad, la integridad y características del aislante; la integridad del aislante depende de la corriente que circula por el conductor y la sección del conductor. Conocida la potencia del motor se determinada la sección nominal del conductor.

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_N \cdot FP \cdot \eta} \quad (2.22)$$

donde

$I_N$  : corriente nominal.

$V_N$  : voltaje nominal.

$FP$  : factor de potencia.

$\eta$  : eficiencia del motor.

La corriente de diseño del alimentador debe ser 25% mayor que la corriente nominal según el CNE, por tanto:

$$I_{DISEÑO} = 1.25.I_N \quad (2.23)$$

donde

$I_{DISEÑO}$  : corriente de diseño

Por efecto de temperatura

$$I_{DISEÑO}^{CT} = \frac{I_N}{K_T} \quad (2.24)$$

donde:

$I_{DISEÑO}^{CT}$  : corriente de diseño por efecto de temperatura.

$P$  : potencia (kW).

$F.P$  : factor de potencia

$\eta$  : eficiencia eléctrica (%).

$K_T$  : factor de corrección por temperatura.

$V_v$  : voltaje (V).

## Referencias Bibliográficas.

- [Ref.2.1]. Alden, John L. DESIGN OF INDUSTRIAL VENTILATION SYSTEMS, 5<sup>ta</sup> Edition, Industrial Press Inc., New York, 1982 p. 62.
- [Ref.2.2]. *Ibíd.*, p. 84.
- [Ref.2.3]. Olave V, Antonio. MANUAL PRACTICO DE DESARROLLO DE CALDERERIA, 1<sup>ra</sup> Edition, Barcelona, 2004 p. 150.
- [Ref.2.4]. Alden, John L., op. cit., p. 51.
- [Ref.2.5]. *Ibíd.*, p. 20.
- [Ref.2.6]. *Ibíd.*, p. 84.
- [Ref.2.7]. Assureira, Estela, TABLAS Y GRÁFICOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS, 2008, p. 58.
- [Ref.2.8]. Alden, John L., op. cit., p. 62.
- [Ref.2.9]. Assureira, Estela, op. cit., p. 65.
- [Ref.2.10]. Marks, MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO, Volumen III 2<sup>da</sup> Edition en español, McGraw-Hill, Inc., México, 1984, p.14-50.
- [Ref.2.11]. Alden, John L., op. cit., p. 169.
- [Ref.2.12]. Perry, Robert H. BIBLIOTECA DEL INGENIERO QUÍMICO, Volumen 5, 5<sup>ta</sup> Edición, México, p.102.
- [Ref.2.13]. *Ibid*, p. 170.
- [Ref.2.14]. Coz Pancorbo, Federico, VENTILACIÓN INDUSTRIAL, Manual del Curso, PUCP, Lima, 2001.p.135.
- [Ref.2.15]. *Ibíd.*, p.135.
- [Ref.2.16]. *Ibíd.*, p.135.
- [Ref.2.17]. *Ibíd.*, p.135.
- [Ref.2.18]. *Ibíd.*, p.135.

## CAPÍTULO 3

### **Diseño del sistema de extracción.**

Este capítulo se determina por medio de los cálculos matemáticos la selección y diseño del dimensionamiento de los componentes del sistema de extracción localizada. Para determinar el diámetro del ducto se tiene como datos, la distancia entre el foco contaminante y el ingreso de la campana, la longitud del banco de pruebas, en bases a los datos se inicio el cálculo del dimensionamiento de la campana extractora, el caudal, la velocidad de captura, pérdidas dinámica y estáticas del sistema y la potencia del ventilador

#### 3.1 Aspectos generales.

Considerando los requerimientos del sistema y los sistemas de extracción existentes, el diseño a realizar será del tipo extracción localizada con campana tipo Canopy, ductos, ventilador, separador de polvo y sistema eléctrico.

La distancia de la abertura en la pared (ventana) con respecto al nivel del piso es de 3650mm, el banco de pruebas tiene una altura aproximada de 1000mm y la distancia de la campana extractora tipo Canopy al banco de pruebas es de 300mm, entonces para determinar la longitud del ducto 1, se debe calcular cual es la altura de la campana extractora, además de las dimensiones del codo, para así determinar un rango de valores que determine la dimensión del ducto 1, tal como se muestra en la figura 3.1, el valor de A va depender de las dimensiones de la campana.

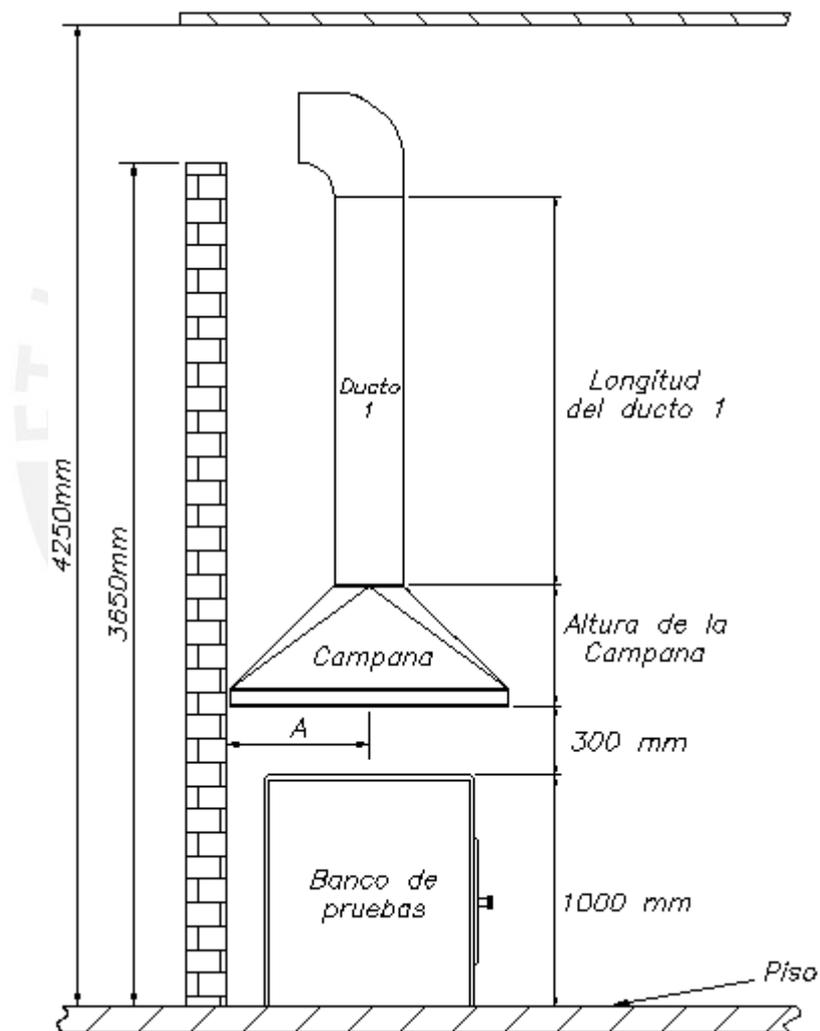


Figura 3.1. Posición del ducto 1.

\* (A depende de la dimensiones de la campana)

Para el análisis del sistema de extracción localizada se considera un ducto de sección cuadrada, entonces de la ecuación 2.7 se obtiene que  $D_H = L$  (caso especial).

Conocidas las dimensiones de la altura de la campana, longitud del ducto 1, del codo y el espesor de la pared, se puede conocer la dimensión del ducto 2, además la longitud del ducto 3, que va a depender cual es la altura ( $h$ ) la carcasa del ventilador con respecto al nivel del suelo, como se muestra en la figura 3.2.

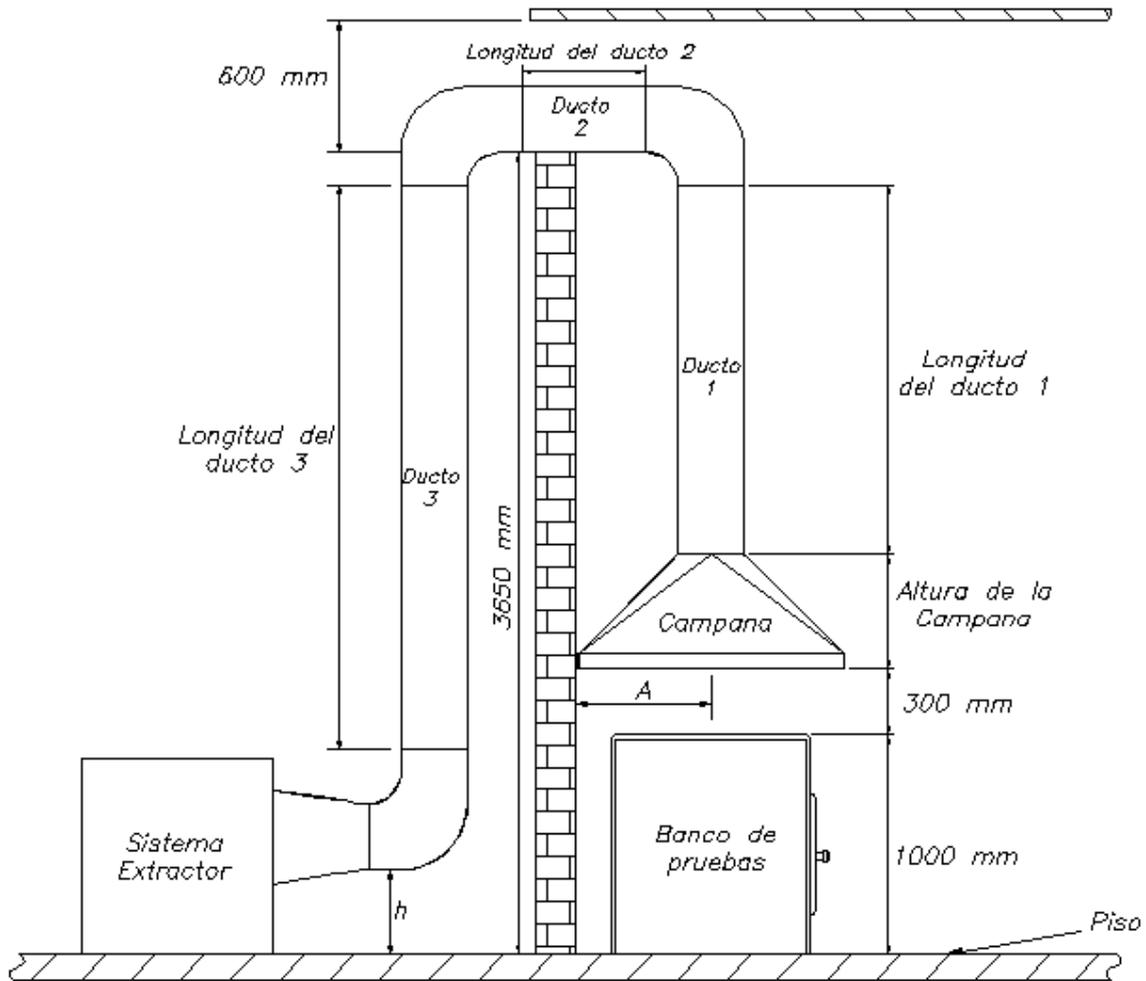


Figura 3.3. Posición del ducto 2 y del ducto 3

### 3.2 Diseño de la campana.

Las pautas para el dimensionamiento de una campana del tipo canopy convencional están en función de la altura ( $x$ ) de la zona superior de la mesa de pruebas hasta la entrada de la campana.

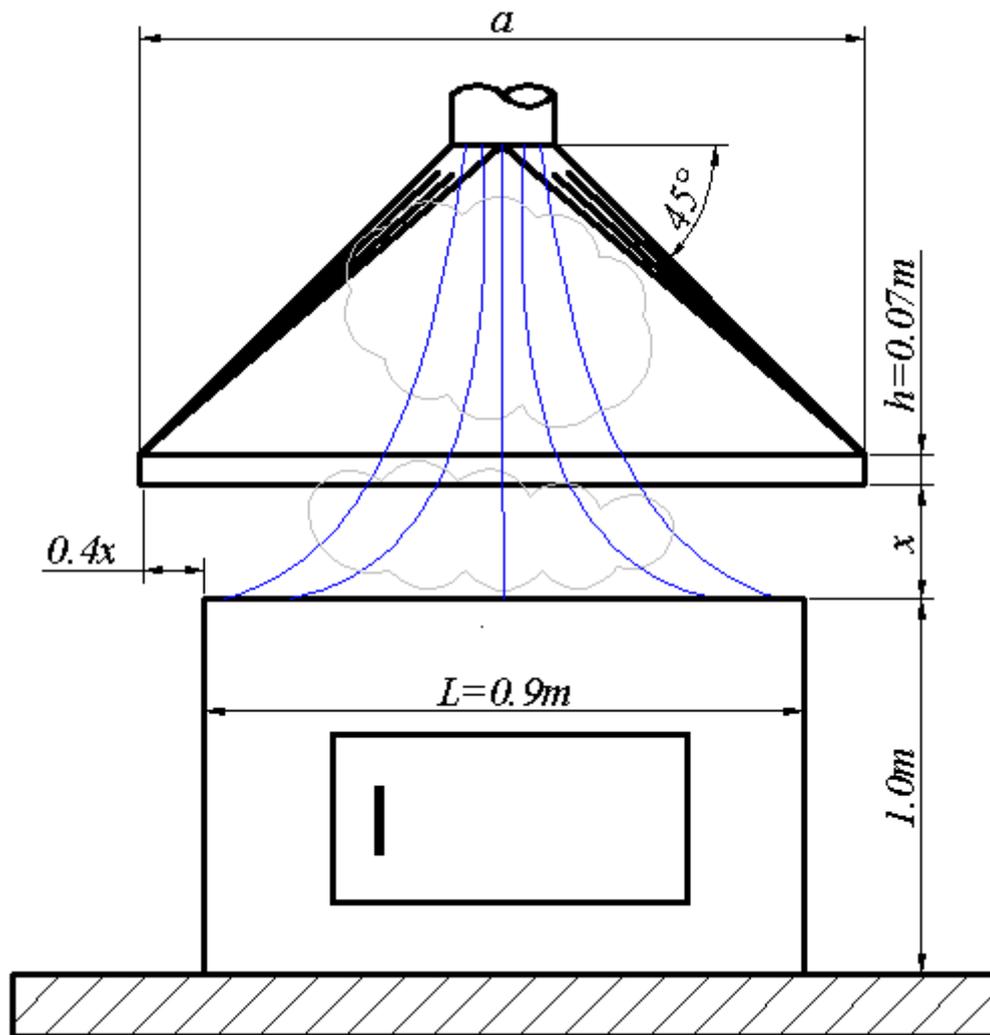


Figura 3.4. Dimensionamiento de la campana Canopy

Las dimensiones del banco de ensayos son de medidas igual, entonces para captar toda el área de fluencia (foco contaminante) las dimensiones de la campana extractora localizada debe ser una campana cuadrada a cuatro aguas para mantener una mejor distribución del flujo de vapor. Entonces para la construcción de la campana se considera una distancia de 70mm (ver Ref.2.3) que es altura recta de la campana (concepto de rigidez), en la parte inferior de la falda se incluye un dobléz a noventa grados para evitar filos cortantes en la entrada de la campana (seguridad).

El área de la campana extractora localizada, se determina mediante la ecuación 2.2:

$$a_{campana} = (0.9 + 0.8 * 0.3)^2 \rightarrow a_{campana} = (1.140)^2 \rightarrow a_{campana} = 1.3m^2$$

Considerando valores comerciales, se considera que el área de la campana es;

$$a_{campana} = 1.44m^2 \approx 15.5 \text{ pies}^2$$

Para determinar cual es el porcentaje aproximado de la velocidad de captura (entrada a la campana), se analiza con la ecuación 2.3

$$\frac{y}{100 - y} = \frac{0.1 * 15.5}{0.98^2} \quad \rightarrow \quad y = 61.74\%$$

es decir que la velocidad sobre el banco de pruebas es de aproximadamente  $7.65m/s$ , a una distancia aproximada de  $60mm$ , el cual no afecta la velocidad de captura, ya que el banco de ensayos se encuentra a una distancia aproximada de  $1.0m$

Para las velocidades de captura mínima y máxima se obtiene según la ecuación 2.1, el rango de caudal mínimo y máximo tal como muestra la tabla 3.1.

Tabla 3.1; Cálculo del rango de caudales con velocidades de captura.

Velocidad de Captura <i>m/s</i>	Velocidad de transporte <i>pies/min</i>	Caudal <i>pies<sup>3</sup>/min</i>	Caudal <i>m<sup>3</sup>/s</i>
0.5	98.43	2470.87	1.17
0.6	118.11	2965.04	1.40
0.7	137.80	3459.21	1.63
0.8	157.48	3953.39	1.87
0.9	177.17	4447.56	2.10
1.0	196.85	4941.73	2.33
1.1	216.54	5435.91	2.57
1.2	236.22	5930.08	2.80
1.3	255.91	6424.25	3.03
1.4	275.59	6918.43	3.27
1.5	295.28	7412.60	3.50

La velocidad de transporte partículas de carbón, gases y niebla, es recomendada de por el manual Design of Ventilation Systems entre  $15\text{m/s}$  a  $20\text{m/s}$ , para evitar excesivas pérdidas en la tubería y la sedimentación de partículas

Para el cálculo del diámetro del ducto se utiliza la ecuación 2.10, este cálculo se realiza para una velocidad de  $20\text{m/s}$  (recomendada) con el caudal mínimo y máximo como se muestra en la tabla 3.2

Tabla 3.2; muestra de distintos diámetros en el rango de velocidad de captura, con la velocidad de entrada recomendada.

Velocidad de captura $m/s$	Caudal $m/s$	Velocidad de transporte $m/s$	Diámetro $mm$
0.5	1.17	20.0	272
0.6	1.40	20.0	298
0.7	1.63	20.0	322
0.8	1.87	20.0	345
0.9	2.10	20.0	366
1.0	2.33	20.0	385
1.1	2.57	20.0	404
1.2	2.80	20.0	422
1.3	3.03	20.0	439
1.4	3.27	20.0	456
1.5	3.50	20.0	472

### 3.3 Sistema de ducto.

El análisis de la ecuación de Bernoulli en el sistema permite determinar las pérdidas en los componentes del sistema (ductos, codos, campana, etc.), que la presión dinámica y presión estática. La diferencia de presión se hace cero, por que los puntos analizados se

encuentran a la misma presión (1 bar), además la velocidad sobre el banco de ensayo es aproximadamente cero, es decir se analiza dicho punto los gases contaminados están en reposo. Entonces los puntos analizados son desde el punto 0 hasta el punto 3, tal como se muestra en la figura 3.5.

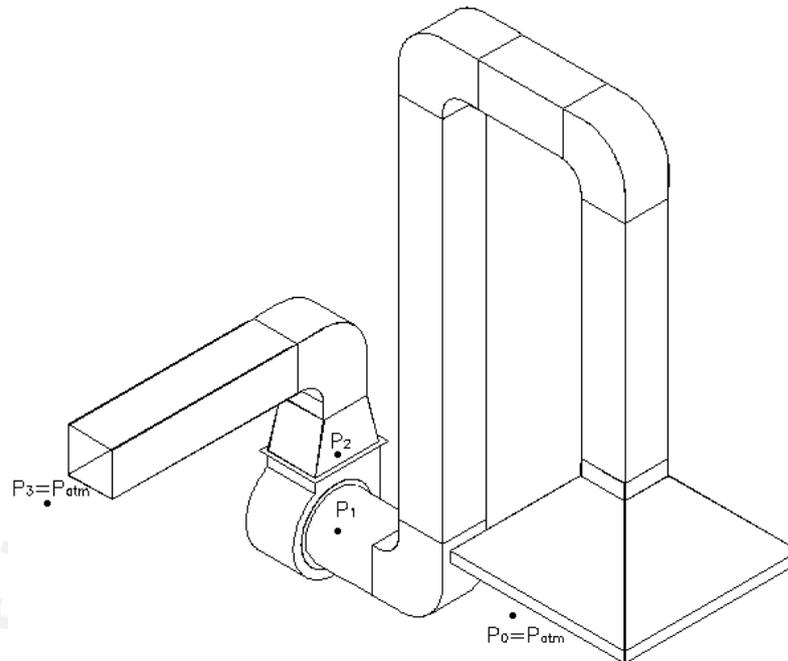


Figura 3.5. Esquema gráfico del funcionamiento del sistema de extracción.

Aplicando la ecuación de Bernoulli en el esquema de presiones para el punto 0 al punto 3, se obtiene la siguiente expresión de la ecuación 2.17

$$H_{man.sistema} = \frac{V_3^2}{2g} + h_{w.campana} + h_{w.codos} + h_{w.ductos}$$

De la ecuación 2.4 se determina la pérdida en la campana

$$H_{w.campana} = C_e \cdot \frac{(V_{ducto}^{entrada} - V_{campana}^{entrada})^2}{2 \cdot g} = 0.49 * \frac{20.0^2}{2 * 9.81}$$

$$H_{w.campana} \approx 10.0 \text{ m.c. aire .}$$

aplicando la ecuación 2.14 para determinar las pérdidas en los codos

$$h_{w.codos} = \sum .k_1 \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$H_{w.codos} = 4 * 0.25 \cdot \frac{20.0^2}{2 * 9.81}$$

$$H_{w.codos} = 20.4 \text{ m.c.aire .}$$

y de la ecuaciones 2.10, 2.11 y 2.12 permite el cálculo de las pérdidas en los ductos, en la siguiente tabla 3.3 se muestra los valores obtenidos, para diferentes diámetros y las perdidas generadas que se obtienen del proceso iterativos.

Tabla 3.3; muestra de distintos diámetros en el rango de velocidad de captura, con la velocidad de entrada recomendada.

Velocidad de transporte <i>m/s</i>	L <i>m</i>	Diámetro <i>mm</i>	Re	<i>k/D</i>	$\xi$	Hw. ductos <i>m.c.aire</i>
20.0	4800	272	306856127.74	0.00055	0.0185	6.64
20.0	4800	298	336144046.14	0.00051	0.0182	5.97
20.0	4800	322	363077066.73	0.00047	0.0180	5.46
20.0	4800	345	388145711.05	0.00044	0.0180	5.11
20.0	4800	366	411690696.56	0.00041	0.0175	4.68
20.0	4800	385	433960097.55	0.00039	0.0172	4.37
20.0	4800	404	455141190.06	0.00037	0.0170	4.12
20.0	4800	422	475379468.97	0.00036	0.0165	3.83
20.0	4800	439	494790638.70	0.00034	0.0162	3.61
20.0	4800	456	513468511.95	0.00033	0.0160	3.43
20.0	4800	472	531490403.86	0.00032	0.0160	3.32

Como se observa en la tabla 3.4 se obtienen las pérdidas en toda la ductería (ducto) y se le suma la pérdida de la campana y de codos, sumando el  $H_{man}$  dinámico se obtiene el  $H_{man}$  total, como se muestra en el cuadro siguiente.

Tabla 3.4; muestra de distintos diámetros en el rango de velocidad de captura, con la velocidad de entrada recomendada.

Velocidad de Captura $m/s$	$H_{w.campana}$ <i>m.c.aire</i>	$H_{w.codos}$ <i>m.c.aire</i>	$H_{w.velocidad}$ <i>m.c.aire</i>	$H_{w.ductos}$ <i>m.c.aire</i>	$H_{man.sistema}$ <i>m.c.aire</i>	Diámetro <i>mm</i>
0.5	10.0	20.4	20.4	6.64	57.4	272
0.6	10.0	20.4	20.4	5.97	56.7	298
0.7	10.0	20.4	20.4	5.46	56.2	322
0.8	10.0	20.4	20.4	5.11	55.9	345
0.9	10.0	20.4	20.4	4.68	55.4	366
1.0	10.0	20.4	20.4	4.37	55.1	385
1.1	10.0	20.4	20.4	4.12	54.9	404
1.2	10.0	20.4	20.4	3.83	54.6	422
1.3	10.0	20.4	20.4	3.61	54.4	439
1.4	10.0	20.4	20.4	3.43	54.2	456
1.5	10.0	20.4	20.4	3.32	54.1	472

Aun con los resultados del tabla 3.4 no se puede elegir el diámetro del ducto, por lo que el diámetro varía en función al caudal (aumenta el diámetro), causa menor pérdida pero aumenta el costo. Por ello se deberá calcular la potencia del ventilador y elegir cual es el diámetro a considerar. Para ello se utiliza la ecuación 2.18. Se utiliza álabes rectos o también llamados de álabes radiales, debido a que puede soportar mayores temperaturas y manejar materiales corrosivos y abrasivos, además por su autolimpieza pero tiene baja eficiencias ( $\eta = 60\%$  ó  $63\%$ ). Se muestra a continuación los valores obtenidos, siguiendo el proceso iterativo para diferentes diámetros, ya que todavía no se sabe que diámetro se va a utilizar.

Tabla 3.5. Rango de pérdidas del sistema, diámetros y potencias.

Velocidad de Captura $m/s$	Caudal $m^3/s$	$H_{man.sistema}$ $m.c.aire$	Diámetro $mm$	Potencia $kW$
0.5	1.17	72.91	272	1.31
0.6	1.40	71.89	298	1.56
0.7	1.63	71.13	322	1.80
0.8	1.87	70.59	345	2.05
0.9	2.10	69.95	366	2.28
1.0	2.33	69.47	385	2.52
1.1	2.57	69.09	404	2.76
1.2	2.80	68.65	422	3.00
1.3	3.03	68.33	439	3.23
1.4	3.27	68.06	456	3.47
1.5	3.50	67.89	472	3.71

Los cálculos iterativos se realizó para verificar cual es la mejor opción y así satisfacer las necesidades a cumplir del sistema de extracción. El diámetro comercial es de  $300mm$ , según el cálculo iterativo se observa el valor de  $296 mm$  de diámetro con una potencia de  $1.56 kW$ , para determinar cual es la potencia real se tiene como parámetros el caudal ( $m^3/s$ ) y el  $H_{man.sistema}$  ( $m.c.aire$ )

### 3.4 Selección del ventilador.

Como se mencionó con anterioridad, uno de los requerimientos es la auto-limpieza de los álabes que se lograba gracias a un rotor de álabes rectos, es decir con un  $\beta_2 = 90^\circ$ . Se observa que en el catálogo de ventiladores de GreenHeck para un rotor de dichas características, se requiere un mayor consumo de potencia, lo cual encarecería el proyecto, por lo que se requiere de un motor más grande de lo esperado. Recorriendo al campo laboral por visitas a diferentes lugares donde se encuentran semejanzas con el proyecto se requiere de motores pequeños, valores como por ejemplo  $1.5 - 3 hp$ .

Además los ventiladores de alabes rectos consumen mayor potencia y son diseñados para mayores presiones, es decir para un trabajo más exigente que la del proyecto, por tanto esto encarece lo requerido, que la compra de un ventilador de un precio asequible a comprar.

Por estas razones se opta por un ventilador de alabes inclinados hacia atrás, es decir  $\beta_2 < 90^\circ$ , lo cual tiene como característica un menor consumo de potencia, y es de acuerdo con que se busca.

De acuerdo a los cálculos realizados se obtienen los siguientes parámetros de selección, para ingresar a la curva característica del manual de GreenHeck, se debe tener dos datos las cuales son: el caudal en *pies*/min y la presión estática en *inches W.G* tal como se muestra a continuación;

Caudal:  $2.97 \times 1000$  *pies*<sup>3</sup>/min  
Diferencial de Presión: 3.4 *inches W.G*

En la siguiente gráfica se muestra cual es la velocidad del motor y que potencia se va utilizar, para satisfacer el requerimiento del laboratorio.

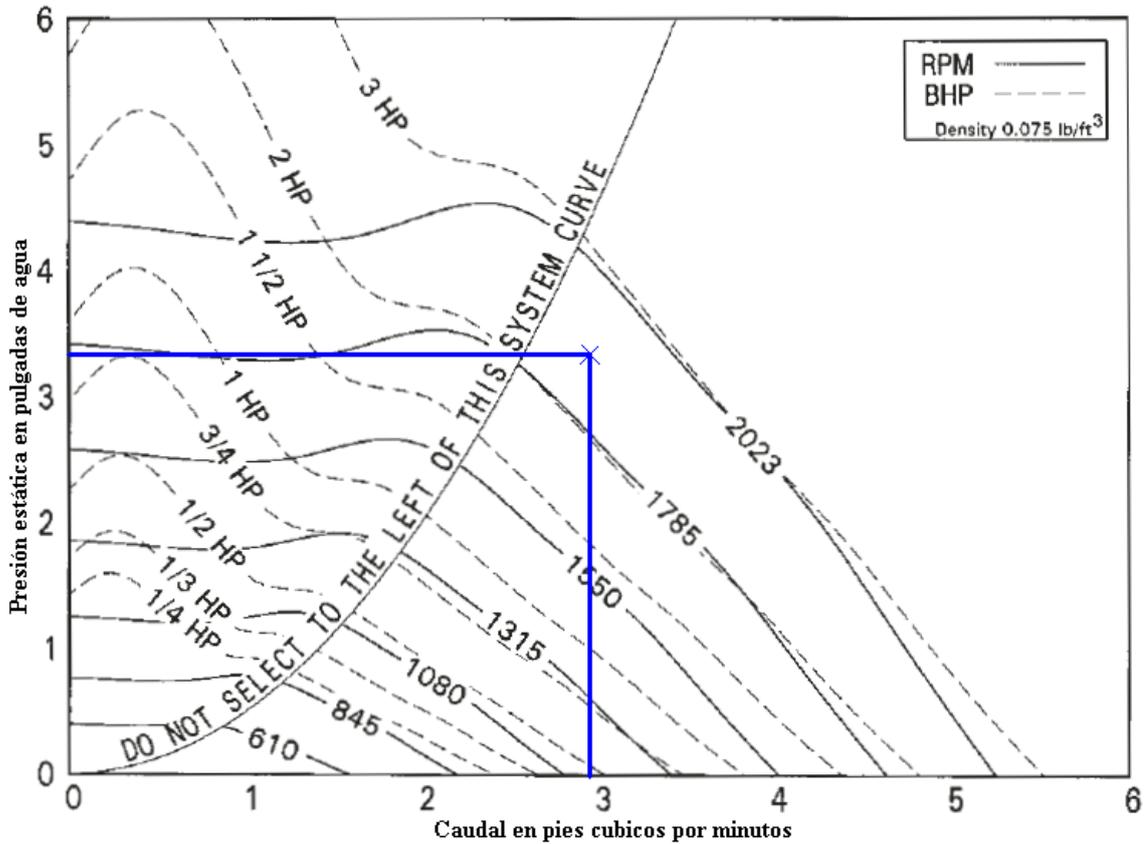


Figura 3.6. Curvas de Características. [Ref. 3.1].

Del diagrama de la curva característica se determina los siguientes datos para saber cual es el requerimiento del ventilador (motor), por ende del catálogo de extractores manual de GreenHeck, modelo 116 SBW Series 100, tiene cuatro agujeros en la parte inferior para realizar el anclaje cuya son  $28\frac{1}{4}'' \times 2\frac{13}{8}''$

Nivel de ruido: 82 dB (como mínimo)

Material de fabricación:

- carcasa;
- plancha galvanizada
- rueda:
- aluminio
- eje;
- acero
- estructura;
- acero

Potencia del motor; 2.0Hp

Velocidad del rotor; 1659 rpm

Tipo retransmisión; por fajas, en V, seleccionadas y calculadas por Greenheck

Eje; 1 pulg (25.4 mm) de diámetro

En la figura 3.7 se muestra las dimensiones del equipo

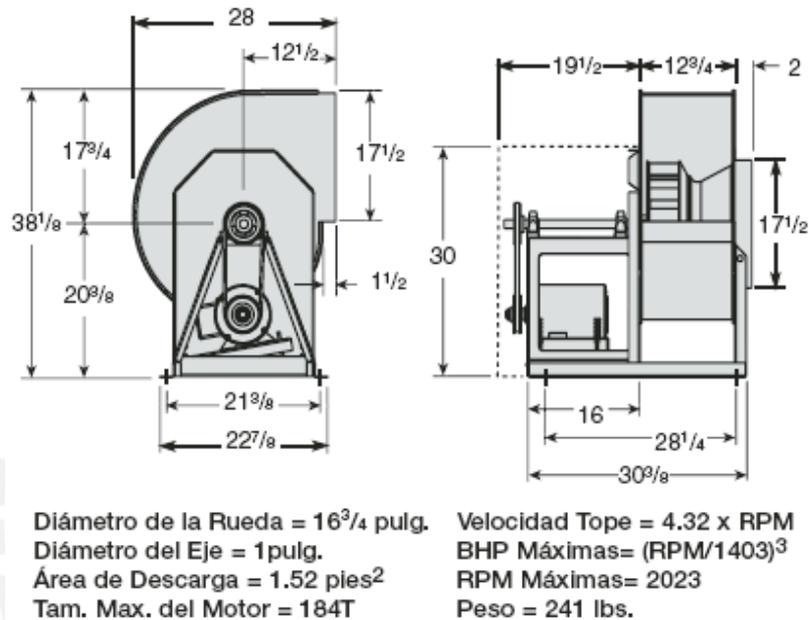


Figura 3.7. Dimensiones del Extractor. [Ref. 3.2].

### 3.5 Selección de los filtros de mangas.

Después de capturar al contaminante y luego de transportarlo mediante el sistema de conducción viene ahora la tarea de limpieza o depurar el aire, es decir separar al contaminante, mediante la ecuación 2.19 se determina aproximadamente el número de filtros; la longitud es dependiente a lo que existe en el mercado, entonces:

Para nuestro caso aplicativo se presentan los valores de los factores en la siguiente tabla;

Tabla 3.6. Cálculo del área total y la carga específica.

Factor de material ( $K_1$ )	$K_1 = 10(\text{pie}^3/\text{min})/\text{pie}^2$ , para carbón.	Tabla 2.2
Factor de uso ( $K_2$ )	$K_2 = 0.9$ , para filtración de gases.	Tabla 2.3
Factor de temperatura ( $K_3$ )	$K_3 = 1$ , para $t = 20^\circ\text{C}$	Figura 2.12
Factor de tamaño ( $K_4$ )	$K_4 = 0.8$ , menor a 3 micrones	Tabla 2.4
Factor de contenido de polvos ( $K_5$ )	$K_5 = 0.85$ .	Figura 2.13
Cargas específicas ( $K_A$ )	$K_A = 6.12(\text{pie}^3/\text{min})/\text{pie}^2$ ,	Ec. 2.21
Área neta de tela ( $A_n$ )	$A_n = \frac{2470.87}{6.12} = 403.737 \text{ pies}^2 = 37.51 \text{ m}^2$	Ec. 2.20
Área total de tela ( $A_T$ )	$A_T = 2 \times 37.51 = 75.02 \text{ m}^2 \approx 75 \text{ m}^2$	[Ref. 3.3]

Esta área filtrante puede dividirse en varias mangas para disminuir el tamaño del equipo. Los sistema de limpieza pulse jet, son los más usados en la industria debido a su bajo mantenimiento y a su libre operación, en la figura se muestra el sistema pulse jet.

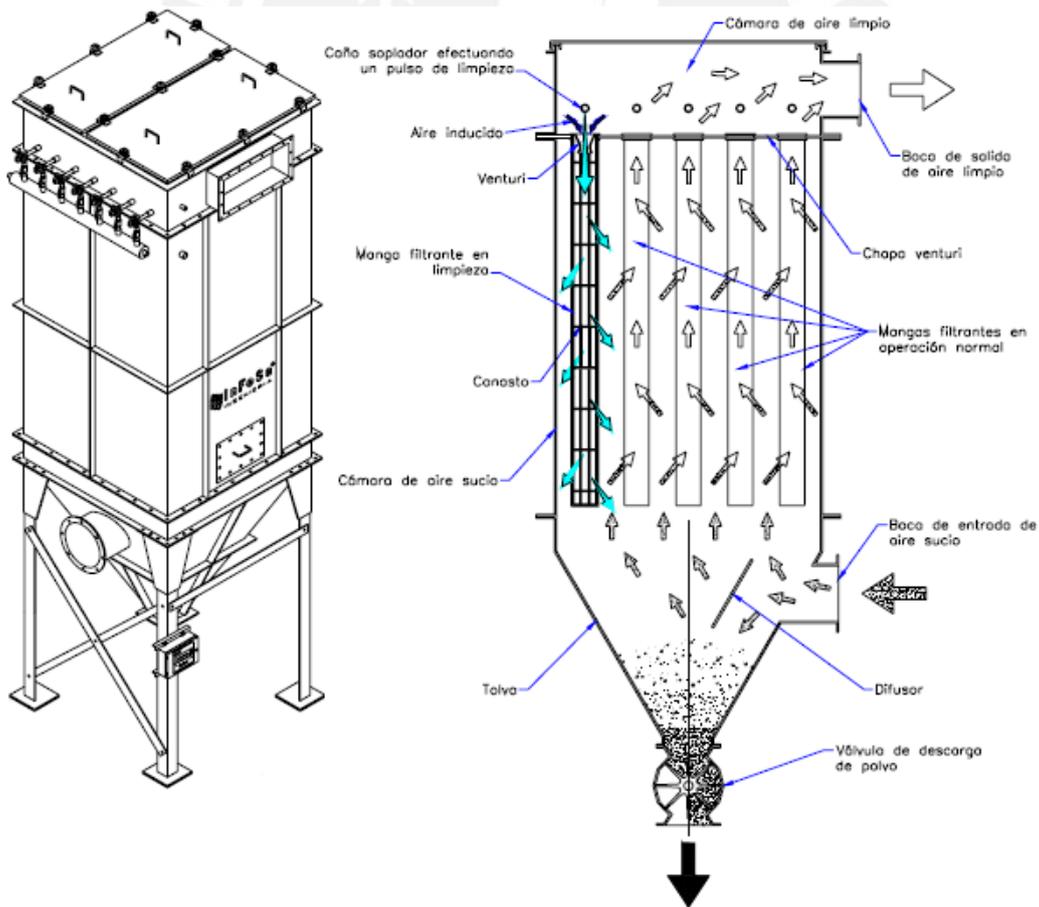


Figura 3.8. Chorro pulsante (Pulse jet). [Ref. 3.4]

3.7 Cálculo del soporte de la campana.

Todo elemento del sistema de extracción debe tener un tipo de sujeción por la existencia de la vibración (motor-ventilador), en la siguiente figura 3.7, se observa el marco soldado que va a soportar todo el peso de la campana, manteniendo fija la campana.

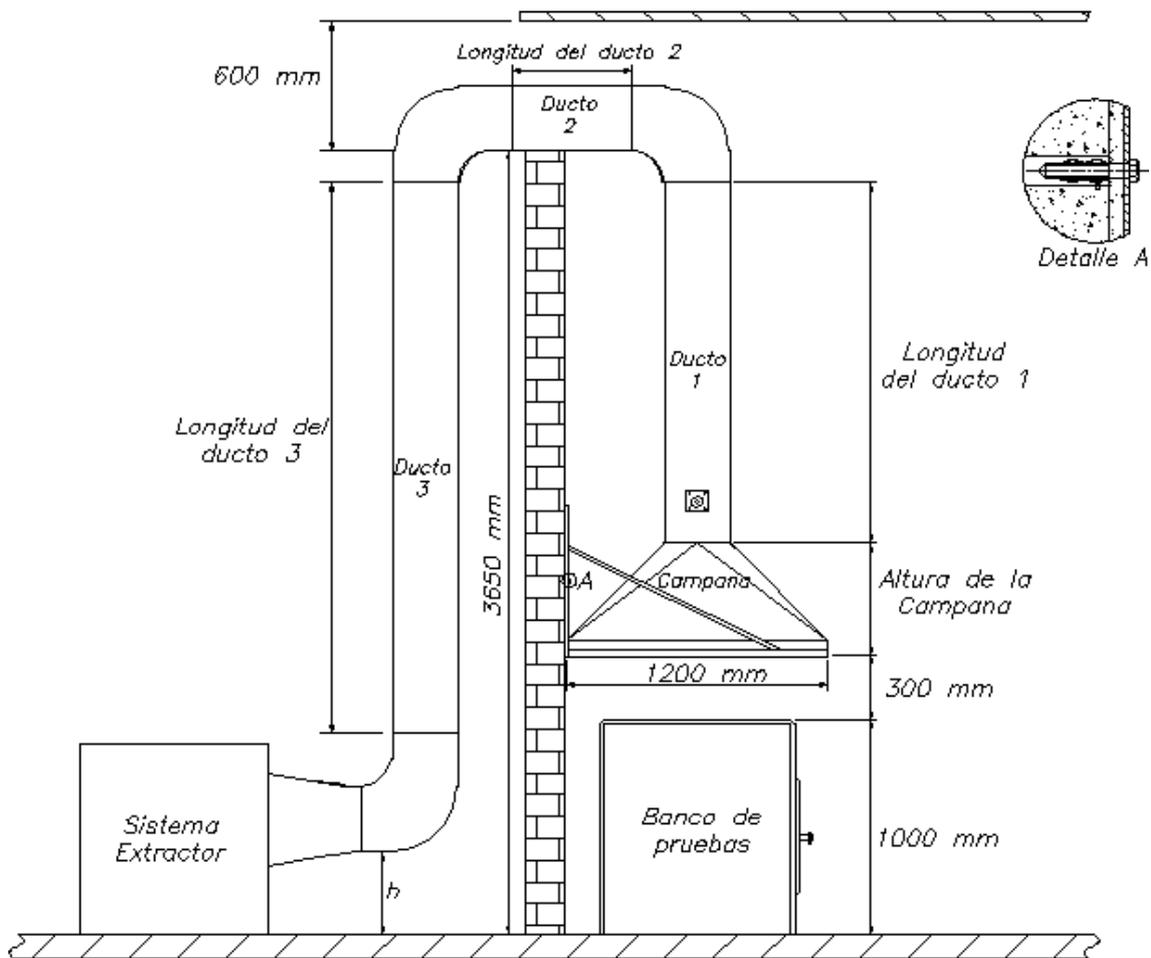


Figura 3.9. Posición de soporte

Las medidas del soporte de la campana (marco) se observan en el plano A2-20, cuyas medidas son  $1210\text{mm} \times 1210\text{mm}$  realizadas con barras en forma de ele, este soporte sostiene el peso de la campana, del ducto 1, de las regletas y del sistema de regulación, además mantiene a la campana fija, por lo que esta sujeta por medio de pernos depositándola en forma recta.

Sostenida la campana es necesario mantener fijo el soporte, entonces para que el soporte este en posición fija se instala por medio de pernos anclados hacia la pared como se observa en la figura 3.7, por lo que es necesario saber los pesos de la campana, soporte, ducto 1, ducto 2, un codo, el sistema de regulación y 12 regletas, para determinar el diámetro del perno que soporta todo el peso. Las planchas vendidas en el mercado es de  $1.20m \times 2.40m \times 0.8mm$ , como es de una material acero galvanizado su densidad es  $0.00787g/mm^3$ , en la siguiente se tabla se muestra el volumen, área y peso de cada componente (las dimensiones se observa en los planos).

Tabla 3.7. Peso de componentes

	Área Superficie $mm^2$	Volumen $mm^3$	Masa <i>gramos</i>
CAMPANA	5470000	2180000	17156.6
DUCTO 1	1720000	684000	5383.08
DUCTO 2	1720000	685000	5390.95
CODO	1940000	775000	6099.25
REGLETA	142000	56500	5335.86
			39365.74

A este peso se debe sumar el peso del soporte, el peso del sistema de regulación que es aproximadamente  $20\text{ Kg}$ , entonces el peso total es de  $50.4\text{ Kg}$ , a este valor se aumenta un  $20\%$  de su peso por precaución, entonces el peso total es  $60.4\text{ Kg}$ , multiplicado por la gravedad se obtiene una fuerza de  $593\text{N}$ . Con este valor se realiza el cálculo de los tornillos que va a soportar la campana manteniendo en posición estática.

- Cálculo de tornillo

El peso total de todos los elementos mencionados anteriormente es de 593 N., Determinar con exactitud la ubicación de la fuerza no es el caso específicamente, por la fuerza se aproximadamente en el centro de la campana, entonces las fuerzas que generen los tornillos contrarrestan (hacen equilibrio) como se muestra en la figura 3.10.

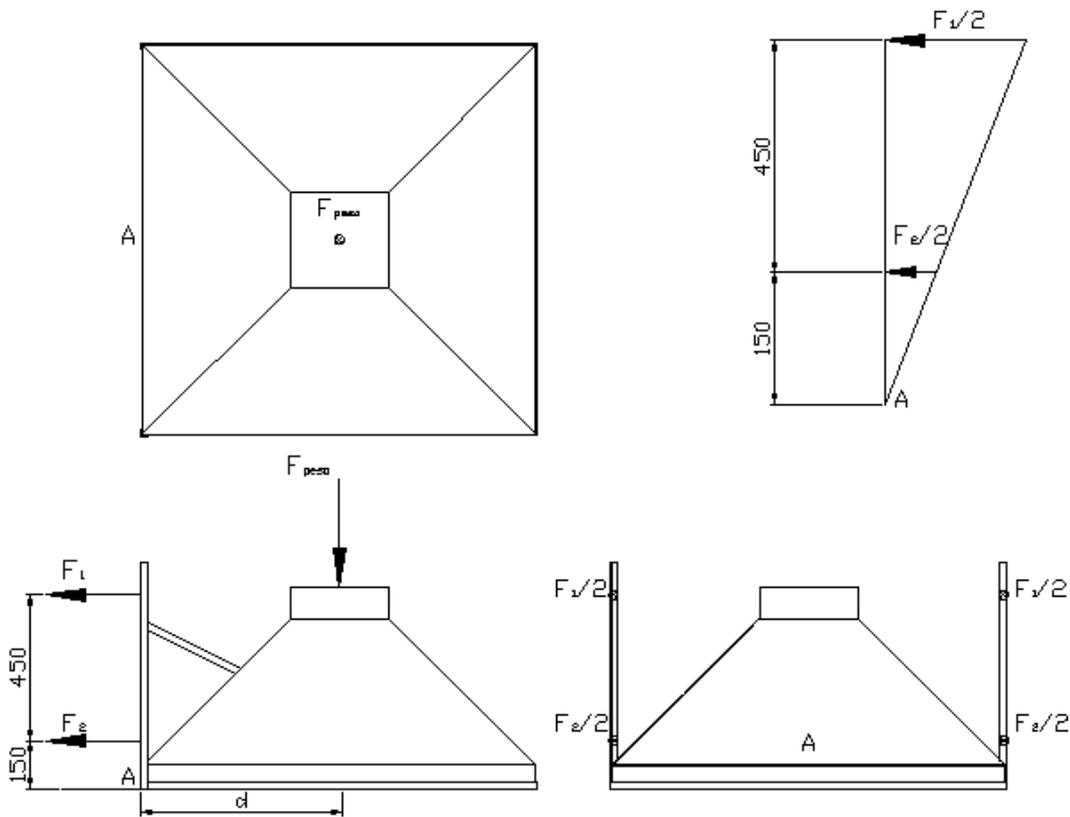


Figura 3.10. Ubicación de fuerzas de los tornillos

El análisis el punto A; las fuerzas y momentos que se generan por efecto de la fuerza del peso, se equilibran con las fuerzas de los tornillos, para este análisis en punto de paso es el punto A, por ende en las siguientes expresiones se calculan las fuerzas internas de los tornillos. Comúnmente la sujeción por medio de tornillos se realiza entre dos placas, una tuerca y una arandela o dos placas y una de las placas es de agujero ciego, en este caso se va utilizar un tarugo (incrustado en la pared de material noble) y tornillos. Se instala 04 tornillos como se observa en la figura 3.10.

Si se analiza sobre el punto A (punto de pivot), la fuerza del peso (campana mas soporte) va a generar un momento, entonces para que el sistema este en equilibrio aparece dos fuerzas (fuerza normales para los tronillos) y fuerza cortantes que se genera por la fuerza del peso.

Cálculo del momento en le punto A

$$M_A = d * F_{peso} \quad (\text{positivo en sentido de las manesillas del reloj})$$

$$M_A = 610 * 593 = 361730 \text{ N.mm}$$

$$M_A = 361.7 \text{ N.m}$$

Además

$$M_A = 150 \frac{F_2}{2} + 600 \frac{F_1}{2} \rightarrow M_A = 75F_2 + 300F_1 \dots\dots\dots (*)$$

Por semejanza de triángulos

$$\frac{F_1/2}{600} = \frac{F_2/2}{150} \rightarrow F_1 = 4F_2 \dots\dots\dots (**)$$

Reemplazando (\*\*) en (\*)

$$M_A = 75F_2 + 300(4F_2)$$

$$M_A = 1275F_2 \rightarrow 361681.2 = 1275F_2$$

$$F_2 = 283 \text{ N}$$

$$F_1 = 1134 \text{ N}$$

Los cálculos previos da como resultado seleccionar un tornillo  $M5 \times 30 \text{ mm}$  de calidad 8.8 de un material St 34, por razones de seguridad se instala un tornillo de  $M10 \times 50 \text{ mm}$  de calidad 8.8 de un material St 52.

Por lo que se procede a verificar para la medida mencionada.

La fuerza admisible (este valor es proporcionado por la calidad y material del tarugo), debe ser mayor que la fuerza normal.

Entonces

$$F_{ADM} > F_1/2$$

$$140 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} > F_1/2$$

$$1373 \text{ N} > 567 \text{ N}$$

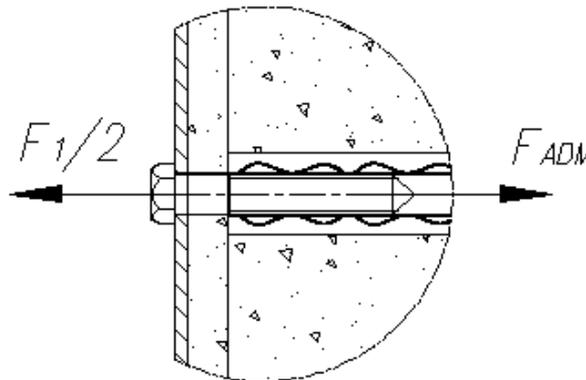


Figura 3.11. Estado de equilibrio de las fuerzas actuantes (fuerza de adherencia)

La fuerza del peso genera un esfuerzo cortante en los tornillos

Entonces,

$$\tau = \frac{F_{\text{peso}}}{A_s}$$

donde

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_3 + d_2}{2} \right)^2$$

El esfuerzo equivalente según Von Mises es, dado que no existe esfuerzo normal, entonces el esfuerzo equivalente es:

$$\sigma_{equiv} = \sqrt{3\tau^2}$$

$$\sigma_{equiv} = \tau \cdot \sqrt{3}$$

Por consiguiente se debe cumplir que:

$$\sigma_{equiv} \leq \frac{\sigma_F}{FS_R}$$

$$\tau \cdot \sqrt{3} \leq \frac{\sigma_F}{FS_R}$$

$$\frac{\sqrt{3} \times 593}{58} \leq \frac{340}{2}$$

$$17.7 \text{ N/mm}^2 \leq 170 \text{ N/mm}^2$$

Por tanto cumple con los requerimiento el tornillo de  $M10 \times 50 \text{ mm}$  de calidad 8.8 de un material St 52.

- Cálculo del regulador de caudal

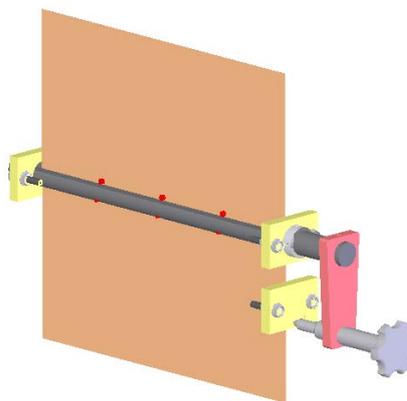


Figura 3.12.Regulador de Caudal

Para el cálculo de las dimensiones del regulador de caudal, se trata de hallar mediante la fuerza de arrastre ejercida por la aire al paso por este, el análisis es con los conceptos

del curso de Mecánica de Fluidos 1-A. El cálculo con la velocidad de operación máxima dentro el ducto  $V = 20.32 \text{ m/s}$ . En la grafica siguiente se muestra posiciones de análisis.

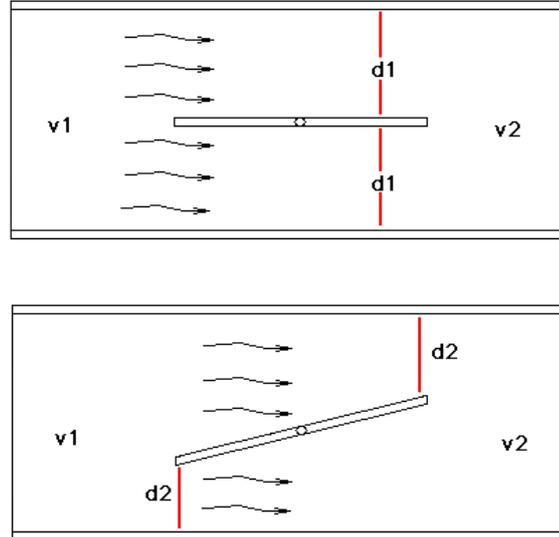


Figura 3.13. Posición del regulador de Caudal

$$F_{\text{arrastre}} = \frac{1}{2} \rho V^2 C_D A \quad \text{Re} = \frac{VD}{\nu}$$

- ✓ Temp: 20°C.
- ✓ Presión: 1Bar.
- ✓  $\rho=1,2\text{kg/m}^3$ .
- ✓  $\mu=1,76 \times 10^{-5} \text{Nm/s}^2$ .
- ✓  $C_d=f(b/h)=1,4$

Reemplazando valores en la formula de fuerza de arrastre se obtiene,

$$F_{\text{arrastre}} = 2,322 \text{ N}$$

- Sistema de enclavamiento:

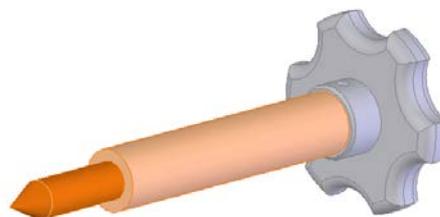


Figura 3.14. Sistema de enclavamiento

El sistema de enclavamiento consiste en un pin deslizante, el cual se desliza a través de la bocina fijada por soldadura a la biela del sistema, al momento de jalar la manija, el resorte instalado, en la parte interior de la bocina, se comprime procediendo a girar la compuerta hasta la apertura requerida, una vez definido el porcentaje de apertura se suelta el jalador, regresando parcialmente el resorte a su posición de reposo y clavando la punta del pin seguidor en uno de los agujeros taladrados en el soporte de posicionamiento.

Para el cálculo del resorte se considero del tipo helicoidal sometido a carga de compresión (DIN 2089), con una fuerza de compresión de 5N (fácil manejo al momento de jalar).

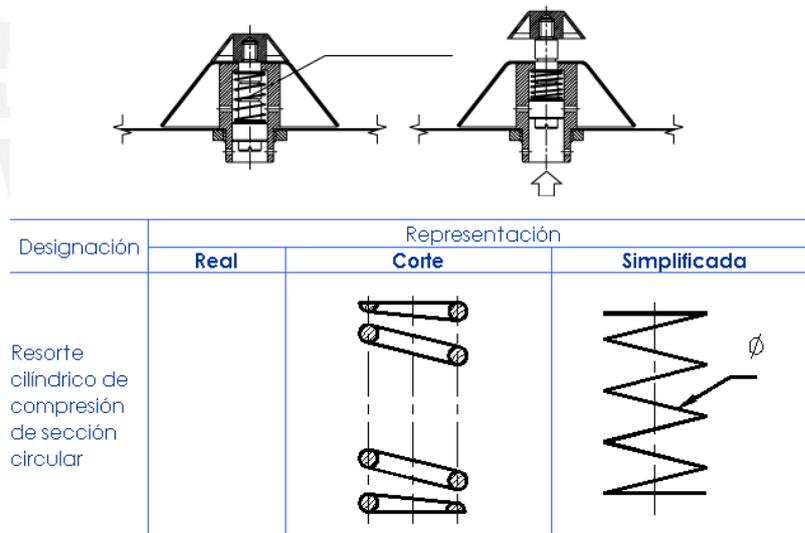


Figura 3.14 .Grafica se resorte

La longitud de deformación  $f_n = 10mm$  .

$$i_f = \frac{Gd^4 f_n}{8D_n^3 F}$$

El diámetro del alambre será  $d = 0.2mm$  .

El diámetro exterior  $D_a=10\text{mm}$ , resultando un diámetro medio  $D_m = 9,3\text{mm}$ .

$$G = 8,4 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$i_f = 5.97 \text{ se selecciona } i_f = 6$$

Al ser el resorte de extremos unidos y esmerilados, resulta un número de espiras real de:

$$i_g(\text{real}) = i_f + 2 = 8 \text{ espirales reales}$$

### 3.8 Cálculo del conductor eléctrico.

Para determinar cual es el área del conductor, se calcula con los datos del motor trifásico marca SIEMENS  $3\text{Hp}$   $\eta = 76.8$   $F.P = 1.15$  y  $3445\text{RPM}$ .

Entonces de la ecuación (2.22)

$$I_N = \frac{3.0 \times 746}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.768 \times 1.15} = 4.72 \text{ A.}$$

La corriente de diseño del alimentador debe ser 25% mayor que la corriente nominal según el CNE, por tanto de la ecuación (2.23):

$$I_{\text{DISEÑO}} = 1.25 \times 4.72 = 5.9 \text{ A.}$$

Por efecto de temperatura, la corriente admisible del conductor debe ser corregida, sin embargo esto puede realizarse de otra forma corrigiendo la corriente de diseño, tal como vemos a continuación.

$$I_{\text{DISEÑO}} \text{ CT} = \frac{5.9}{0.88} = 6.7 \text{ A}$$

Se ubica en la Tabla de capacidad admisible de corriente para conductores y se tienen dos opciones.

$$TW \ 1.5\text{mm}^2 \quad I_{\text{ADM}} = 14.5 \text{ A} \text{ [Ref. 3.5].}$$

El Código Nacional de Electricidad-Utilización recomienda que el menor cable a utilizar deba ser de una sección no menor a  $2.5\text{mm}^2$ . [Ref. 3.6], entonces se selecciona dos 2 cables con una capacidad de corriente en A de conductores aislados de 19.5A. Se verifica por caída de tensión admisible.

$$\% \Delta U = \frac{0.03092 \times L_{\text{conductor}} \times I_N \times FFP}{U \times S} * 100\%$$

$$\% \Delta U = \frac{0.03092 \times 5 \times 4.72 \times 0.768}{2.5 \times 380} = 0.059\% \leq 3\%$$

No es necesario aumentar la sección para cumplir con lo especificado. La selección de fusibles, se va a utilizar un factor de protección de 1.6 – 2

$$I_{\text{diseño}} = I_{\text{trabajo}} \times FFP \rightarrow I_{\text{diseño}} = 5.9 \times 2 = 11.8\text{A}$$

La intensidad normalizada 10A de color rojo, tamaño tapas roscadas DII DZ25, un interruptor termo magnético, para la protección contra el cortocircuito de 15A que es normalizado y finalmente el interruptor de seguridad de 20A, el criterio de selección es

$$125\% I_{\text{carga}} \leq I_{\text{nominal}}$$

$$200\% I_{\text{carga}} \leq I_{\text{fusible}}$$

### Referencias Bibliográficas.

[Ref. 3.1]. [www.greenheck.com](http://www.greenheck.com), Catálogo de ventiladores GREENHECK, p. 13.

[Ref. 3.2]. *Ibíd.*, p.13.

[Ref. 3.3]. Coz Pancorbo, Federico, VENTILACIÓN INDUSTRIAL, Manual del Curso, PUCP, Lima, 2001,p.135.

[Ref. 3.4]. [www.infesa.com.ar](http://www.infesa.com.ar).

[Ref. 3.5]. [www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe). Ministerio de Energía y Minas. Código Nacional de Electricidad-Utilización, tabla 2, p. 550.

[Ref. 3.6]. *Ibíd.* Sección 030, conductores, p.17.

[Ref. 3.7]. *Ibíd.* Sección 030, conductores, p.17.



## CAPITULO 4

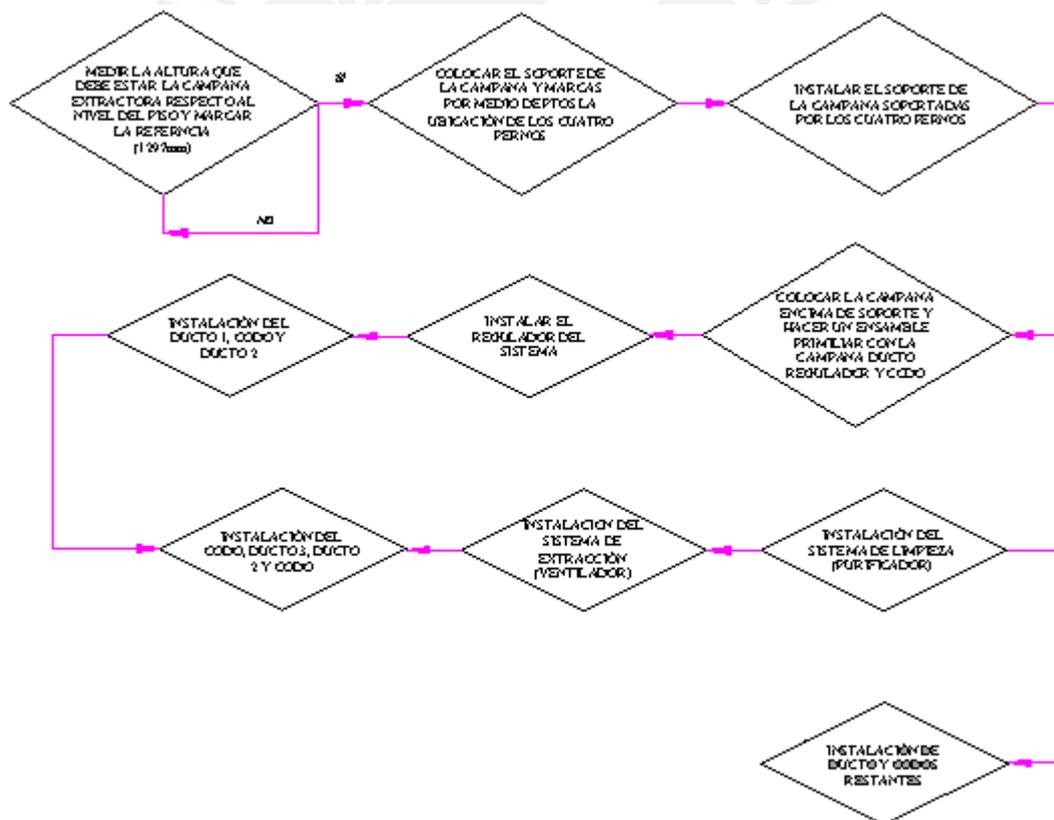
### **Manual de instalación y operatividad del sistema**

En este capítulo se dará a conocer por medio de un manual la instalación paso a paso de todo el sistema de extracción localizada, asimismo un manual para la operatividad del sistema de extracción localizada. Por ello se debe leer atentamente las instrucciones antes de realizar cualquier trabajo sea la de instalación y/o operatividad del sistema. Se dará a conocer algunas instrucciones de seguridad que debe tener en cuenta al momento de realizar la instalación del sistema y al momento de realizar los ensayos en el banco de pruebas.

Manual de instalación.

El presente manual debe ser leído en su totalidad antes de proceder a la instalación parcial o total del sistema de extracción. Antes de empezar la instalación y para evitar inconvenientes durante la misma, verifique que todos los materiales a utilizar hayan sido suministrados, asimismo la instalación requiere del uso de equipos y herramientas, por lo que debe verificar que se encuentren en la zona de instalación antes de que este comience.

A continuación se muestra un diagrama de flujo de la secuencia de la instalación del sistema de extracción.



### Lista de herramientas y equipos requeridos para la instalación

- Una llave inglesa N° 12.
- Un juego de llaves.
- Un martillo.
- Un taladro mecánico.
- Una escalera de tijera.
- Una escalera de un tramo.
- Un multímetro.
- Una pinza para cables.
- Elementos de seguridad y Equipos de Protección Individual (lentes de seguridad, zapatos punta de acero, guantes de trabajo y ropa de trabajo).

Además se requiere de personal que realice la instalación y las pruebas de ensayos del sistema de extracción localizada.

- Dos operarios para realizar el ensamblaje
- Un técnico encargado de la supervisión y prueba

Una vez que se ha verificado la totalidad de los materiales requeridos y que se dispone de las herramientas necesarias se puede proceder a la instalación del sistema de extracción.

En la siguiente figura se muestra todo el sistema ensamblado.

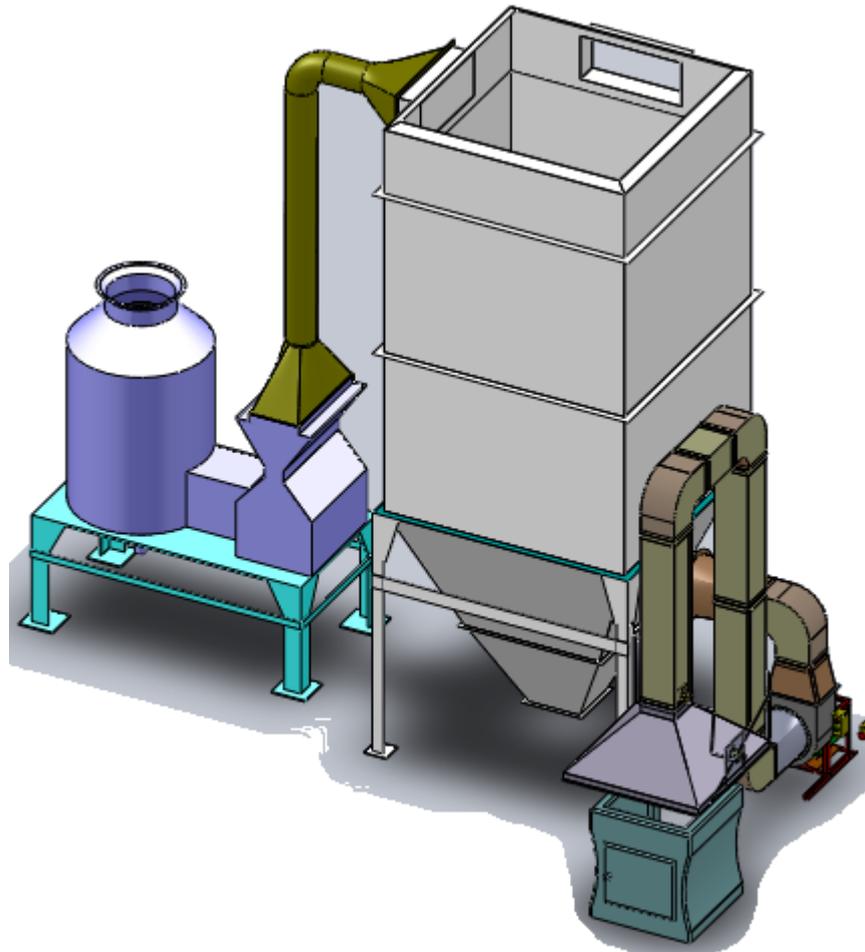


Figura 4.1. Ensamble general del sistema de extracción localizada.

A continuación se muestra la secuencia del montaje, paso a paso.

#### 1° Instalación de la campana.

La campana extractora se encuentra en posición fija y estática, antes de posicionar se debe verificar su ubicación exacta, para el cual se realiza un ensamble preliminar entre el soporte, campana extractora, ducto regulador y el codo que hace el cambio de dirección, realizada el preensamble se obtiene la ubicación correcta del marco que va a soportar a la campana extractora, ducto regulador y el codo. Este preensamble se realiza con la ayuda de los dos operarios y del accesorio de la escalera tijera, entonces se marca la ubicación del marco, el marco tiene cuatro agujeros por donde se van a sujetar por medio de pernos. Obtenida la posición correcta del marco se realiza a marcar la ubicación de los cuatro agujeros y con la ayuda de un taladro se empieza a realizar los

agujeros para un diámetro de 10mm. Realizado los agujeros en la pared donde va ubicado el marco soporte, con la ayuda de la escalera de tijera se colocan los tarugos para los diámetros mencionados, y se empieza a la instalación del marco soporte de la campana, con la ayuda de la llave inglesa se realiza el ajuste de los cuatros pernos autorroscantes de diámetro 10mm, el ajuste se debe realizar en forma de aspa.

Instalada el marco soporte, se inicia el ensamble de la campana extractora; la campana se encuentra sobre el marco, es decir la campana respecto al marco soporte existe un holgura de 5mm para que el ensamblaje se realice sin ningún problema de que la campana sufra algún desperfecto de abolladura. Para mantener la campana en posición fija se coloca esquineros en sus cuatros lados, es decir planchas de un espesor de 2.5mm cada uno. En la siguiente grafica se observa la ubicación del soporte de campana.

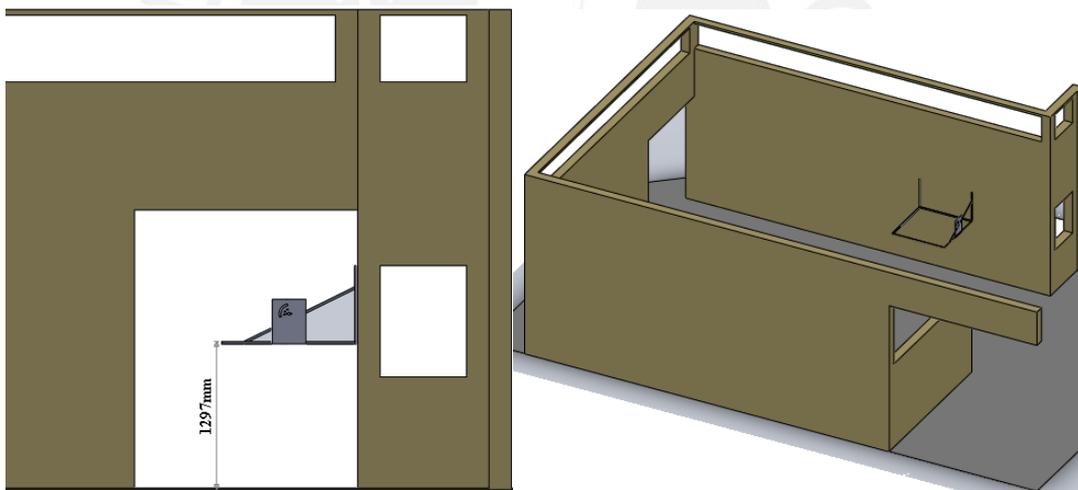


Figura 4.2. Instalación del soporte de la campana extracción localizada

## 2º Instalación del regulador.

El ensamble del regulador se realiza sobre el ducto regulador (ducto1), este ducto tiene dos agujeros de diámetro 32mm y 04 agujeros de diámetro 5mm en dos de sus caras opuestas, en esta cras se colocan el soporte del eje regulador y por medio de 04 pernos allen (M5x16), tuercas y arandelas se ensambla sobre el ducto 1 (el ajuste es en forma de aspa proporcionalmente), ver figura 4.3 ensamblado los dos soporte de regulador por

unos de los diámetros de 32mm se hace pasar el eje del regulador y se centra aproximadamente.

Se coloca en forma vertical el ducto regulador y se introduce la plancha regulador (el eje regulador tiene una parte plana donde va ubicada la plancha regulador) y por medio de 04 pernos allen (M8x8) se realiza el ensamble de la plancha sobre el eje regulador, al termino de este ensamble el eje del regulador se encuentra centrada respecto al ducto regulador.

Manteniendo en la posición vertical el ducto regulador se empieza a colocar la bocina en cada del soporte regulador y se ajusta por medio de 02 pernos allen (M5x16), ver figura 4.4. De esta forma se realiza el ensamble del regulador en una primera etapa (parte interna), terminada la instalación del sistema de ducto se realiza la parte posterior (parte externa) del ensamble del regulador.

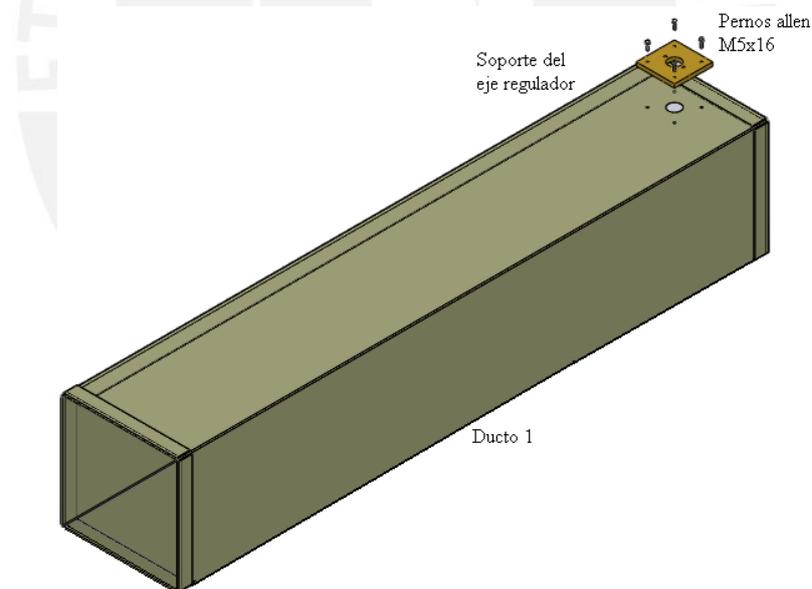


Figura 4.3. Ensamble del ducto regulador (ducto 1) con el soporte de eje regulador

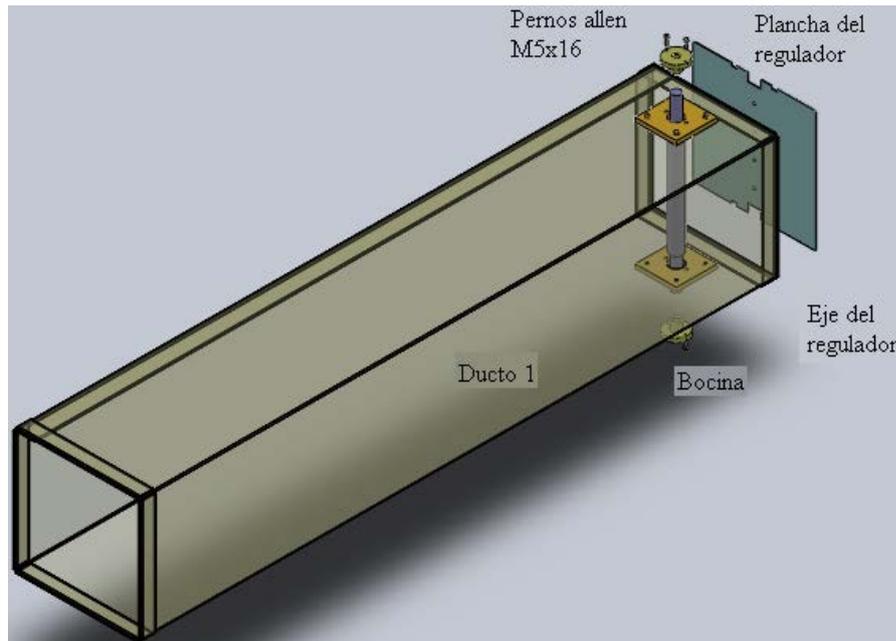


Figura 4.4. Ensamblaje del ducto 1 con el eje regulador, plancha reguladora y las bocinas

Se recomienda que después de terminar el ensamblaje del sistema de ductería se inicie la instalación del regulador que corresponde la parte externa.

El marco soporte tiene un agujero de diámetro de 22.7mm donde va ubicado una bocina y sobre esta una placa de regulador, esta placa también se coloca al final del eje regulador sostenida por medio de pernos, la unión de estas dos placas se realiza por medio de una biela.

La manija de la placa reguladora se coloca al final de la biela, con un espárrago y clavija donde por medio de este elemento se va a regular aproximadamente 50% y 100%.

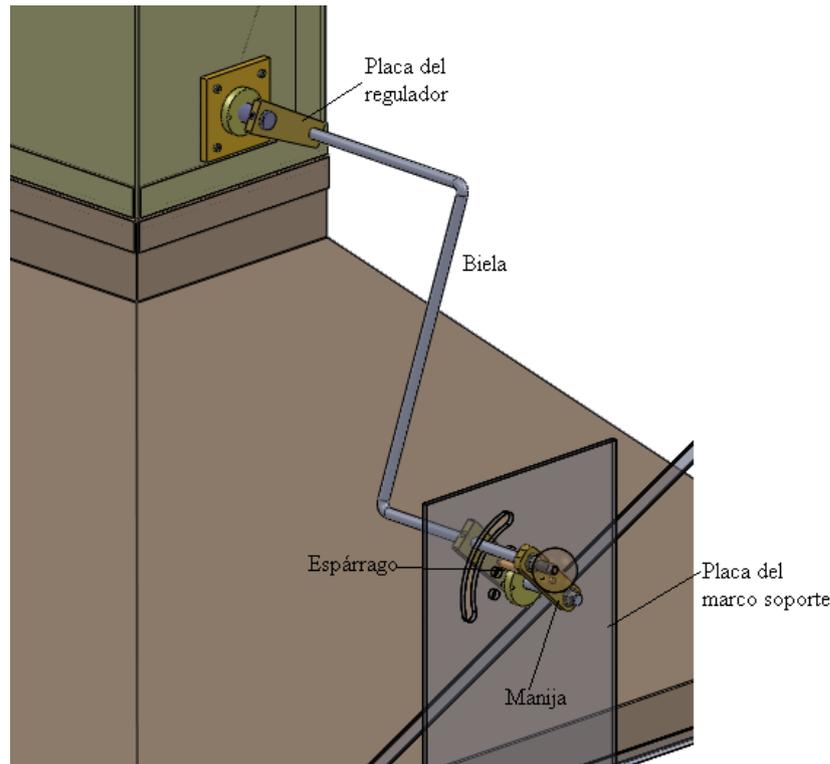


Figura 4.5. Ensamble de la biela del regulador

### 3° Instalación del ducto regulador (ducto 1), un codo y ducto 2.

El ensamblaje de estos tres elementos será realizado sobre una mesa de trabajo. Se sostiene el ducto 1 en forma vertical, encima se coloca el codo manteniendo una tangencia, tener presente la posición y dirección que debe seguir, tal como se muestra la figura 4.6a, se inserta las regletas entre las pestañas de los elementos a ensamblar, las regletas tienen una mayor longitud de la medida del lado del ducto 1 con la finalidad del término de su recorrido se doble perpendicularmente hacia la otra cara del ducto en forma de tope, insertadas las cuatro regletas queda finalmente ensamblada el codo y el ducto 1 tal como se requiere.

De la misma forma se ensambla el ducto 2 al final del codo, siguiendo la trayectoria correcta tal como muestra en la figura 4.6b. Ensamblado los tres elementos será más factible acoplarlas con la campana extractora. Con la ayuda de la escalera de tijera se levanta los tres elementos ensamblados se apoya tangencialmente sobre la campana extractora y sobre la abertura, tener presente que debe estar tangencialmente los componentes a ensamblar para no tener problema al momento de insertar las regletas entre el ducto 1 y la campana. Importante colocar soporte sobre el ducto 1 y sobre el

ducto horizontal para tener mayor rigidez en todo el sistema que hasta el momento se esta ensamblando.

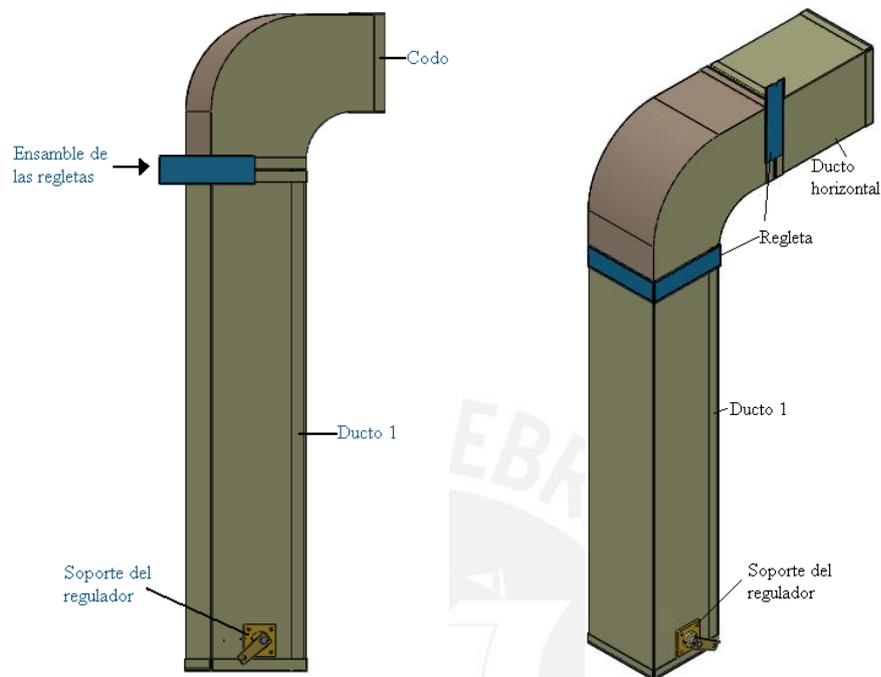


Figura 4.6a y 4.6b. Ensamble de del ducto 1 con el codo y con el ducto horizontal.

#### 4° Instalación del codo, ducto 3, ducto 4 y codo.

Este ensamble va en la parte posterior, colocar el ducto 3 en forma horizontal sobre la mesa de trabajo, colocar el codo tangencialmente en uno de los extremos del ducto, manteniendo la tangencia entre los elementos insertar la primera regleta entre las canaletas de los elementos mencionados, al final de su recorrido de la primera regleta insertada doblar perpendicularmente hacia la cara mas cercana, de la misma forma la segunda regleta, hasta la cuarta regleta, terminada de inserta las regletas los elementos que ensamblados de la forma requerida. Realizar de la misma forma para el ducto 4 con el otro codo, como se muestra en la figura 4.7.

Ensamblar el ducto 3 y el ducto 4, colocar tangencialmente los elementos en mención e insertar las regletas uno a uno, tener en cuenta que la dirección de los codos es en posición contraria es decir, en el mismo sentido pero direcciones contrarias, seguir el procedimiento de ensamble de las regletas, como se muestra en la figura 4.8.

Con la ayuda de la escalera de tijera, se coge todo el sistema ensamblado en la mesa de trabajo y se pone en posición vertical, se coloca tangencialmente uno de los extremos

del codo con el ducto horizontal y se empieza a colocar las regletas siguiendo el procedimiento.

Terminada todo el ensamble del ducto 3 y ducto 4, colocar soporte sobre los ductos en forma proporcional para seguir manteniendo la rigidez del todo el sistema ensamblado hasta el momento.

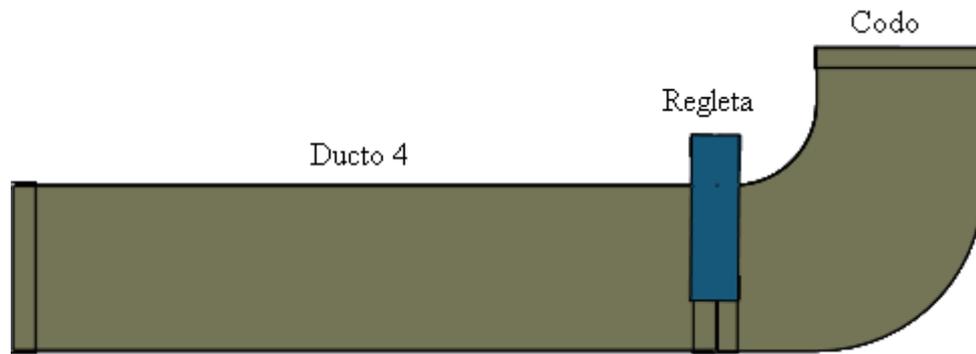


Figura 4.7. Ensamble de del ducto 4 con el codo por medio de regletas.

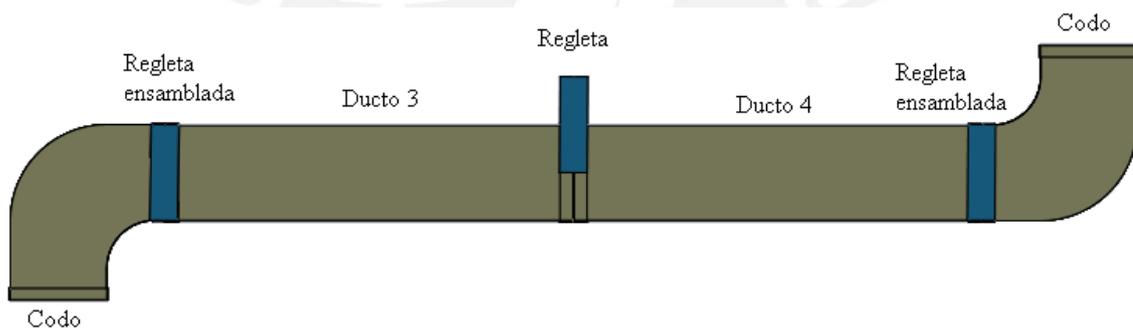


Figura 4.8. Ensamble de del ducto 3, ducto 4 y dos codos, sistema de conducción para la parte posterior del laboratorio, unidas por medio de regletas.

#### 5° Instalación del sistema de extracción (ventilador).

Para la instalación del ventilador se debe leer las instrucciones del catalogo del cliente para mayor información, para no peder las garantías del productos.

#### 6° Instalación del sistema de limpieza (purificador).

Para la instalación del ventilador se debe leer las instrucciones del catalogo del cliente para mayor información, para no peder las garantías del productos.

#### 7° Instalación del Depurador de limpieza (Lavador de Venturi).

Para la instalación del ventilador se debe leer las instrucciones del catalogo del cliente para mayor información, para no peder las garantías del productos.

8° Instalación de ducto y codos restantes.

Después de la instalación del sistema de extracción, se ensambla un codo, ducto, codo y otro ducto horizontal hasta la entrada del sistema de limpieza pulse jet (limpieza por filtro de mangas), a la salida de este sistema se continua con el sistema del ducto hasta el depurador de limpieza (lavador Venturi), por medio de un ducto horizontal, la unión de cada sistema se realiza con las regletas.



## Manual de operación

Para el funcionamiento del sistema de extracción se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- ✓ Para encender el sistema de extracción, presione el interruptor de encendido/apagado.
- ✓ Antes de prender el ventilador, se debe verificar que la placa del regulador este completamente cerrada. (la clavija debe estar en el primer agujero).
- ✓ Colocar la clavija del regulador al 50 % ó 100%, dependiendo de la cantidad de humo.
- ✓ Apagar el extractor cuando se termina el proceso mediante el interruptor encendido/aparado. No apagar el extractor aunque el procesos halla concluido, esperar la evacuación total de los vapores y humos, así se evitara que los vapores y partículas se depositen en grandes cantidades sobre los ductos.
- ✓ Apagada el extractor cerrar totalmente la placa reguladora (posición horizontal).
- ✓ La operación del pulse jet y del depurador de limpieza se encuentra en sus catálogos.

## CAPITULO 5

### Costos de fabricación.

En este capítulo se describe el presupuesto necesario para la fabricación del sistema de extracción, para este análisis es mucha importancia el capítulo 3 y 4, por que proporciona cuales son los elementos que se utilizan. Los precios que se presentan son el resultado de un procesos de diseño, selección y mano de obra, algunos de precios es cotizaciones de empresas dedicadas al rubro.

- Campana extractora, sistema de regulación, soporte de la campana y accesorios.

Tabla 5.1. Costo de la campana extractora, sistema de regulación, soporte de la campana y accesorios.

Nº	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Campana extractora de 1200x1200x620mm	1	u	\$ 150	\$ 150
2	Soporte de campana	1	u	\$ 100	\$ 100
3	Sistema de regulación	1	u	\$ 300	\$ 300

- Tubería (ductería) de transporte y accesorios.

Tabla 6.2. Costo de tubería de transporte y accesorios

N°	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Codo de radio corto 150mm.	4	u	\$ 75	\$ 300
2	Ductos de conducción del sistema de extracción.	1	u	\$ 120	\$ 120
		1	u	\$ 120	\$ 120
		1	u	\$ 120	\$ 120
		1	u	\$ 120	\$ 120
		1	u	\$ 100	\$ 100

- Ventilador centrífugo.

Tabla 6.3. Costo del ventilador centrífugo según el mercado

N°	DESCRIPCIÓN	MOTOR ELECTRICO	CANT.	PRECIO TOTAL
1	Ventilador centrífugo GREENHECK, modelo 116 SBW Series 100	2.0Hp – 1659rpm	1	\$ 18,000

- Filtro de mangas.

Tabla 6.4. Costo de filtro de mangas según el mercado

N°	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Filtro de mangas 740x865x3500mm de altura, peso 500 kg.	6	u	\$ 7 500.00	\$ 7,500.00

- Depurador de limpieza.

Tabla 6.5. Costo de depurador de limpieza según el mercado

N°	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Depurador de limpieza (lavador Venturi)	1	u	\$ 15 000.00	\$ 15,000.00

- Montaje de equipos.

Tabla 6.6. Costo de montaje de equipos y accesorios.

N°	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	<p>Montaje de los siguientes equipos:</p> <p>a). Ventilador centrífugo. b). Filtro de mangas c). Depurador de limpieza.</p> <p>Incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fabricación y suministro de soportaría y anclaje.</li> <li>✓ Pintado con base anticorrosiva.</li> <li>✓ Base de soporte para el ventilador, filtro de mangas, depurador de limpieza.</li> </ul>	1	u	\$ 5500.00	\$ 5,500.00
2	<p>Montaje de toda la red de ductería y accesorios desde la campana extractora hasta el depurador de limpieza.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Soporte y anclajes.</li> <li>✓ Pintado con base anticorrosiva.</li> </ul>				
3	Ductería, accesorios y montaje de la unión entre el filtro de mangas y el depurador de limpieza. (todo costo)	1	u	\$ 500	\$ 500

--	--	--	--	--	--

## 6.1 Resumen de costos.

La tabla 6.7 se muestra el resumen de costos que significaría el desarrollo y posterior montaje del sistema de extracción para el laboratorio carbón de la PUCP:

Tabla 6.7. Costo de tubería de transporte y accesorios

N°	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Costo de la campana extractora, sistema de regulación, soporte de la campana y accesorios.	1	u	\$ 550.00	\$ 550.00
2	Costo de tubería de transporte y accesorios	1	u	\$ 880.00	\$ 880.00
3	Costo del ventilador centrífugo según el mercado	1	u	\$ 1,800.00	\$ 1,800.00
4	Costo de filtro de mangas según el mercado	1	u	\$ 7,500.00	\$ 7,500.00
5	Costo de depurador de limpieza según el mercado	1	u	\$ 15,000.00	\$ 15,000.00
6	Costo de montaje de equipos y accesorios	1	u	\$ 6,000.00	\$ 6,000.00

Total: \$ 31,730.00

+ I.G.V. 19%

## Conclusiones.

- La tesis que se realizó es para dar solución al problema que se da en el Laboratorio de Carbón por la emisión de los gases y partículas contaminantes, al realizar los ensayos con briquetas de carbón, cascarillas de arroz y con biomasa (restos forestales), se eligió el sistema de extracción localizada para limitar el foco contaminante y evitar que los gases y partículas se expandan dentro de la zona de trabajo, siendo transportado dentro del sistema.
- El rango de la velocidad de captura con que se analiza es por recomendación por la condición de dispersión del contaminante. La sedimentación de las partículas de 0.01 micras de diámetro (humo negro), es un problema para este tipo de sistema, por lo que la velocidad de transporte debe evitar que las partículas se depositen dentro del sistema, se considera una velocidad de transporte de 20 m/s por recomendación además esta velocidad no afecta la flama de banco de ensayo al momento de capturar las contaminantes.
- Las Normas Técnicas de Prevención Españolas adoptadas y expuestas para el desarrollo de la tesis permite adecuar los niveles de confort dentro del laboratorio para un buen desarrollo de las personas que se encuentran realizando los ensayos. En nuestro país carece de normas específicas, sólo existen normas generales para el sector de hidrocarburos.
- El diámetro hidráulico del ducto obtenido es 298 mm, mandar hacer esta medida es muy costosa, por lo que no es comercial, entonces se observa cuales son las medidas comerciales y el cual se eligió un diámetro hidráulico de 300 mm. La selección de ducto cuadrado es por su mayor área de captación en comparación a un ducto circular, pero existe un problema que es la sedimentación de partículas en sus aristas, el material a usar para el ducto es acero galvanizado de espesor 0.6 mm.

- En principio se desea un ventilador de álabes rectos por su auto-limpieza, pero consumen mayor potencia y son diseñados para mayores presiones, por estas razones se opta por un ventilador de alabes inclinados hacia atrás ( $\beta_2 < 90^\circ$ ), el cual tiene como característica un menor consumo de potencia, y es de acuerdo con lo que se requiere. El sistema de transmisión entre el motor-ventilador se realiza mediante correas en V, este cinturón bajo tensión no se deslice en el pico de las condiciones de carga.
- El sistema de limpieza de filtro de mangas (sistema chorro pulsante; pulse jet) se selecciona para la captura de las partículas que es generada por la combustión al realizar los ensayos (humo negro, tamaño del diámetro es 0.01 *micras*). El sistema en mención se encuentra instalado después del ventilador que trabaja a plena carga. La potencia del motor garantiza que los gases extraídos transiten todo su recorrido. El sistema de limpieza debe ser revisados periódicamente por el desgaste, la tensión, la alineación y la acumulación de la suciedad.
- Para la realización del montaje se debe respetar la distancia que existe en el banco de pruebas con la campana, por lo que si no existe la distancia correspondiente todo el análisis y diseño del sistema no va a corresponder a lo indicado.
- Un elemento del sistema que requiere una importancia especial es el regulador del sistema, al momento de realizar el ensambleje se debe realizar con cuidado. Además evitar que el sistema de conductos sea golpeado o abollado al momento del montaje.
- La ejecución del sistema de extracción localizada requiere una inversión aproximada de \$31,7300.00 + I.G.V(19%), el mayor costo es el depurador de limpieza y el filtro de mangas, el cual encarecen el proyecto

### Recomendaciones.

- ✓ Antes del sistema de regulador se debe instalar un filtro de carbón activado, por tener la capacidad de retener ciertas partículas (productos orgánicos, gases disueltos, cloros, etc.), y olores que puede emitir la combustión incompleta. Esto permite que los filtros del depurador tenga una vida mayor.
- ✓ El sistema de conducción (ductos) sea redondo (aunque sea mas caro por los elementos de sujeción), se evita que la sedimentación de las partículas.
- ✓ Colocar al banco de ensayo, la campana dentro de una cabina cerrada, con este sistema se logra que los gases emitidos en el banco de pruebas sea absorbidos y eso evitara que se dispersen.
- ✓ La automatización del sistema del regulador. Colocar un sensor de humo (electrónico) en el sistema de regulación del modo que cuando exista la presencia de humo se active el motor-ventilador para el funcionamiento del sistema, además que permita regular el sistema de regulación.
- ✓ El filtro de mangas de sistema chorro pulsante (pulse jet) se debe instalar antes del ventilador centrífugo para mantenerse en depresión y así evitar cualquier fuga de aire.
- ✓ Para evitar el costo innecesario de aproximadamente 2 metros, perforar la pared a una altura de 2000mm respecto del piso y realizar una trayectoria del paso del sistema de conducción, con esta nueva trayectoria se ahorra una perdida en los ducto de aproximadamente 3.46mm de agua y del costo de realizar ductos.

## Bibliografía.

1. Alden, John L. DESIGN OF INDUSTRIAL VENTILATION SYSTEMS, 5ta Edition, Industrial Press Inc., New York, 1982.
2. Assureira Espinoza, Estela. MECANICA DE FLUIDOS, Manual del Curso, PUCP, Lima 2008.
3. Carnicer Royo, Enrique. EDITORIAL PARANINFO. S.A., Magallanes, 25 – 28015 Madrid - España
4. Coz Pancorbo, Federico. VENTILACION INDUSTRIAL, Manual Del Curso, PUCP. Lima 2008.
5. Escoba, Salvador. MANUAL PRÁCTICO DE VENTILACION, Hojas técnicas, Catálogo.  
Disponible en: <http://www.soler-palau.com.mx>.
6. Guardino Sola, Xavier, Doctor en Ciencias Químicas y Rosell Farras, MG. Ing. Técnico Químico. SEGURIDAD EN EL LABORATORIO, Centro Nacional de Condiciones de Trabajo.
7. GREENHECK. Catálogo de Ventilares.  
Disponible en: [www.greenheck.com](http://www.greenheck.com).
8. Hernández, Ana Licenciada. Ciencias Químicas y Licenciado. Ciencias Químicas Luna Mendoza, Pablo. CABINAS DE SEGURIDAD BIOLÓGICA, Centro Nacional de Condiciones de Trabajo.
9. INDECO – PERU. Catálogo de productos de cables.  
Disponible en: [http://www.indeco.com.pe/productos/view\\_catalogo](http://www.indeco.com.pe/productos/view_catalogo).
10. INDUSTRIAL VENTILATION. Manual of recommended practice. American Conference of Governmental Industrial Hygienist. Inc.
11. Marks, MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO, Volumen 1, México 1987.
12. Ministerio de Energía y Minas. Código Nacional de Electricidad – Utilización.  
Disponible en: [www.minem.gob.pe](http://www.minem.gob.pe).
13. Perry, Robert H. BIBLIOTECA DEL INGENIERO QUÍMICO, Volumen 5, 5ta Edición, México.
14. PONTIFICIA Universidad Católica del Perú. Combustibles alternativos y el equipo a utilizar en los ensayos.  
Disponible en: [www.pucp.edu.pe/proyecto\\_carbon/index.html](http://www.pucp.edu.pe/proyecto_carbon/index.html)

15. PONTIFICIA Universidad Católica del Perú. Mapa del Campus universitario. [2005].
16. Revista de Ingeniería Química; Limpieza de Gases. PUCP. TP 155 I5Q.
17. Sáenz Echevarria, José Manuel, Trazado de desarrollo de piezas de planchas. Ediciones Caec Vía Layetana, 17 Barcelona – España.
18. TRADISA – PERÚ. Catálogo de productos planos, perfiles y barras.  
Disponible en: <http://www.tradisa.com.pe>.
19. Ventilación Industrial. Extracción Localizada.  
Disponible en:  
<http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=372>.

