

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN EXTRACTOR DE POLVO DE CAUCHO
PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN EN LA ZONA DE RODILLOS DE
PRODUCTOS FAMILIA.

JUAN ESTEBAN BURGOS GRANDA

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN

2011

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN EXTRACTOR DE POLVO DE CAUCHO
PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN EN LA ZONA DE RODILLOS DE
PRODUCTOS FAMILIA.

Juan Esteban Burgos Granda

Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico

Asesor:

Pablo Alejandro Ruiz Moncada
Ingeniero Mecánico

ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
UNIVERSIDAD EAFIT
MEDELLÍN.

2011

AGRADECIMIENTOS.

Primero que todo le doy gracias a mis padres por darme la oportunidad de estudiar en una universidad tan prestigiosa como EAFIT, por acompañarme y apoyarme en todos los momentos buenos y malos que se presentaron en el transcurso de la carrera. Gracias también a mis hermanas por estar siempre presentes en el momento que necesité de su colaboración.

Al personal de la división Mantenimiento Molinos de la Compañía Productos Familia, en especial por la colaboración del asesor de este proyecto el Ingeniero Pablo Alejandro Ruiz Moncada y al Coordinador de mantenimiento Fabio León Ramírez Rodríguez, en el momento de la fabricación, montaje y respectivas pruebas del proyecto.

A los Ingenieros Andrés Macías y Felipe Arango de la empresa Ingeaire, por la disponibilidad, amabilidad y colaboración que me brindaron cada momento que los necesité.

A la ingeniera Gladiz Arias, de la empresa Gayso S.A, por la colaboración en todo lo relacionado con el análisis ambiental realizado en la empresa Productos Familia.

A la empresa Recudir S.A, por la colaboración y la donación de la tela no tejida tipo Moqueta.

CONTENIDO.

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	10
1. OBJETIVOS.....	12
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
1.2.1. Objetivo 1	12
1.2.2. Objetivo 2	12
1.2.3. Objetivo 3	12
1.2.4. Objetivo 4	13
1.2.5. Objetivo 5	13
1.2.6. Objetivo 6	13
1.2.7. Objetivo 7	13
2. ESTADO DEL ARTE.....	14
2.1. VENTILACIÓN	14
2.1.1. Ventilación general.....	14
2.1.2. Ventilación localizada.....	14
2.2. VARIABLES DE LA VENTILACIÓN.....	15
2.2.1. Caudal.....	15
2.2.2. Presión	16
2.3. INSTRUMENTOS DE MEDIDA	19
2.3.1. Instrumentos para medir la presión	19
2.3.2. Instrumentos para medir la velocidad y el caudal.....	21
2.4. VENTILADORES.....	24
2.4.1. Clasificación de los ventiladores	24
2.4.2. Curva característica de los ventiladores.....	26
2.4.3. Punto de trabajo de un ventilador.....	29
2.4.4. Leyes de los ventiladores	30
2.5. SISTEMAS DE CAPTACIÓN.....	32

2.5.1. Encerramientos	32
2.5.2. Cabinas	32
2.5.3. Campanas externas	32
2.5.4. Campanas de captura lateral	33
2.5.5. Sistemas de ranuras para tanques abiertos	33
2.6. SEPARADORES DE PARTÍCULAS	33
2.6.1. Depuradores mojados	33
2.6.2. Precipitadores electrostáticos.....	34
2.6.3. Separadores centrífugos (ciclón).....	35
2.6.4. Filtros de mangas.....	36
2.6.5. Separadores por gravedad.....	37
2.6.6. Separadores por cámaras de choque o de momento	38
2.7. DUCTOS Y ACCESORIOS	39
2.7.1. Codos.....	40
2.7.2. Transiciones.....	40
2.8. GENERALIDADES DE LOS EXTRACTORES.....	41
2.9. TIPOS DE EXTRACTORES	42
2.9.1. Según la energía utilizada para realizar su trabajo:	42
2.9.2. Según el sistema de extracción.....	43
3. PRINCIPIOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	45
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO.....	47
3.1.1. Agregación	47
3.1.2. Composición química	48
3.1.3. Forma.....	48
3.1.4. Tamaño	48
3.1.5. Diámetros.....	49
3.1.6. Distribución por tamaño de partículas	50
3.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN IMPACTADOR DE CASCADA.....	50
3.3. DESCRIPCION DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL CON EL IMPACTADOR DE CASCADA	52

3.4. VALORES LÍMITES PERMISIBLES (TLV)	55
3.4.1. Generalidades	55
3.4.2. Categorías de los TLV.....	56
3.4.3. Marco Legal, Valores Límites Permisibles (TLV).....	56
4. CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA IDEAL DE EXTRACCIÓN.....	57
4.1. DESARROLLO DEL CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA IDEAL DE EXTRACCIÓN	59
5. CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL DE EXTRACCIÓN.	82
6. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA IDEAL VERSUS EL DISEÑO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL.....	93
7. CONCLUSIONES	96
8. RECOMENDACIONES	98
9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100
ANEXOS.....	103

LISTA DE ILUSTRACIONES.

	Pág.
Ilustración 1. Tipos de ventilación.....	15
Ilustración 2.Presión estática.....	17
Ilustración 3.Presión dinámica.....	17
Ilustración 4.Presión total.....	18
Ilustración 5. Instrumentos básicos para medida de presiones.....	19
Ilustración 6. Sonda de presión estática.....	20
Ilustración 7. Tubo de Pitot.....	20
Ilustración 8. Tubo de Prandtl.....	21
Ilustración 9. Instrumentos para medida de velocidad y caudal.....	21
Ilustración 10. Anemómetro de hilo caliente.....	22
Ilustración 11. Anemómetro de hélice o molinete.....	23
Ilustración 12. Anemómetro de tubo de Prandtl.....	23
Ilustración 13. Ventiladores axiales.....	24
Ilustración 14. Ventiladores centrífugos.....	25
Ilustración 15. Tipo de ventiladores centrífugos.....	26
Ilustración 16. Pérdida de caudal según la longitud.....	27
Ilustración 17. Curva característica de un ventilador.....	28
Ilustración 18. Punto de trabajo de un ventilador.....	30
Ilustración 19. Leyes de los ventiladores.....	31
Ilustración 20. Depuradores con agua.....	34
Ilustración 21. Precipitadores electrostáticos.....	35
Ilustración 22. Ciclón.....	36
Ilustración 23. Filtros de mangas.....	37
Ilustración 24. Cámara de sedimentación.....	38
Ilustración 25. Cámara de choque.....	39
Ilustración 26. Accesorios, codos.....	40
Ilustración 27. Transiciones.....	40
Ilustración 28. Diagrama de flujo de un extractor.....	41

Ilustración 29. Sistema de ventilación eólico.	42
Ilustración 30. Extractor con motor eléctrico.	43
Ilustración 31. Extractor de sistema tipo succión-impulsión.	44
Ilustración 32. Extractor de sistema tipo succión total.	44
Ilustración 33. Extractor de sistema tipo venturi.	45
Ilustración 34. Penetración de las partículas en el sistema respiratorio según el tamaño.	46
Ilustración 35. Formas del material particulado.	48
Ilustración 36. Impactador de cascada.	51
Ilustración 37. Análisis ambiental en el proceso de rectificado.	53
Ilustración 38. Platos del impactador, luego del análisis.	54
Ilustración 39. Histograma de distribución de partículas.	55
Ilustración 40. Torno ubicado en la zona de rodillos de la Compañía Productos Familia.	60
Ilustración 41. Posición del elemento de captación utilizando el movimiento de las partículas.	62
Ilustración 42. Elemento de captación de la piedra rectificadora.	62
Ilustración 43. Tipos de separadores de partículas y tamaños que pueden separar.	67
Ilustración 44. Gráfica presión dinámica del aire en función de la velocidad del sistema.	71
Ilustración 45. Coeficiente de pérdida para caperuzas de pulidoras.	72
Ilustración 46. Gráfica pérdida por fricción en tramo recto.	73
Ilustración 47. Gráfica coeficiente de pérdida por codos de 90°.	74
Ilustración 48. Gráfica coeficiente de pérdida por ampliación.	75
Ilustración 49. Gráfica de la curva característica del sistema.	81
Ilustración 50. Montaje para medición de caudal.	83
Ilustración 51. Gráfica puntos de medición con Tubo de Pitot en tuberías circulares.	83
Ilustración 52. Equipo separador de partículas.	87

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Conversión unidades de Presión.	18
Tabla 2. Distribución por tamaño de partículas.....	54
Tabla 3. TLV del Negro de Humo establecido por la ACGIH.	57
Tabla 4. Velocidad de captación de material particulado en metros por segundo.	63
Tabla 5. Caudal de captación para caperuzas de pulidoras.	64
Tabla 6. Velocidad para transporte de material particulado en metros por segundo.	65
Tabla 7. Relación aire-tela.	68
Tabla 8. Total pérdida de carga del sistema ideal.....	78
Tabla 9. Pérdidas de carga para diferentes caudales.....	80
Tabla 10. Mediciones de la presión dinámica y la velocidad con el Tubo Pitot.	84
Tabla 11. Matriz de selección del tipo de separador de partículas.	86
Tabla 12. Total pérdida de carga del sistema experimental.....	91
Tabla 13. Eficiencia del sistema.....	93
Tabla 14. Tabla comparativa de los sistemas de extracción ideal y experimental.	93
Tabla 15. Cronograma de actividades.	99

INTRODUCCIÓN.

Productos Familia es una compañía dedicada a la producción de papel, para esto cuenta con 2 máquinas papeleras, a las que pertenecen una serie de rodillos recubiertos por un caucho especial, utilizados para dar formación y consistencia al papel.

A estos rodillos se les realiza un mantenimiento periódico; cuando cumplen su tiempo de trabajo o cuando se presenta alguna anomalía (mantenimiento correctivo); algunas de estas anomalías que se pueden presentar son: altas vibraciones en los rodamientos, deterioro en el recubrimiento de caucho, daño de una espiga, mal ajuste de las chumaceras, entre otras. Cuando los rodillos son desmontados de la máquina, son expuestos a un mantenimiento detallado, donde se revisa el estado de los rodamientos, el estado de las chumaceras, el estado de las espigas, el desgaste del caucho que los recubre y el balanceo.

Cuando uno de estos rodillos presenta desgaste en el recubrimiento de caucho, se procede a rectificar en un torno especial para el rectificado y balanceo de rodillos en la industria papeleras; éste cuenta con una piedra rectificadora, que gira a 1800 RPM, cuando se realiza este procedimiento, se presenta un grave problema y es que el roce de la piedra con el caucho del rodillo produce gran cantidad de polvo de caucho, causando contaminación en la zona de almacenamiento de rodillos donde se encuentra ubicado y algo mucho peor los operarios y mecánicos están expuestos a inhalar este polvo que puede ser perjudicial para su salud.

Otra parte que se puede ver afectada y también es de gran importancia, es el área de conversión, un lugar que debe tener un alto nivel de higiene, debido a que allí se convierte y empaqueta el producto terminado; pues se encuentra exactamente detrás de la zona de almacenamiento de rodillos.

El proyecto se llevará a cabo con el fin de realizar un diseño para la adaptación de un extractor de polvo, al torno utilizado para el rectificado y balanceo de rodillos. Con el fin de disminuir la contaminación en este recinto (Zona de rodillos), y evitar problemas de salud en los operarios y mecánicos que realizan su labor allí.

1. OBJETIVOS.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar, calcular y fabricar un extractor de polvillo de caucho, para evitar la contaminación en la zona de rodillos de la compañía Productos Familia.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.2.1. Objetivo 1

Investigar los diferentes tipos de extractores y reconocer las funciones de cada uno de ellos.

1.2.2. Objetivo 2

Relatar los principios básicos que rigen los extractores y ventiladores.

1.2.3. Objetivo 3

Calcular y diseñar el sistema de extracción ideal para la captura del material particulado.

1.2.4. Objetivo 4

Calcular, diseñar y fabricar un sistema de extracción experimental partiendo del ventilador que se tiene, para la captura del material particulado.

1.2.5. Objetivo 5

Compara el sistema ideal versus el sistema experimental.

1.2.6. Objetivo 6

Exponer el proyecto a la división Mantenimiento Molinos de Productos Familia.

1.2.7. Objetivo 7

Concluir los datos obtenidos.

2. ESTADO DEL ARTE.

2.1. VENTILACIÓN

Existen dos grandes divisiones en cuanto a la ventilación, que son: la ventilación general y la ventilación localizada.

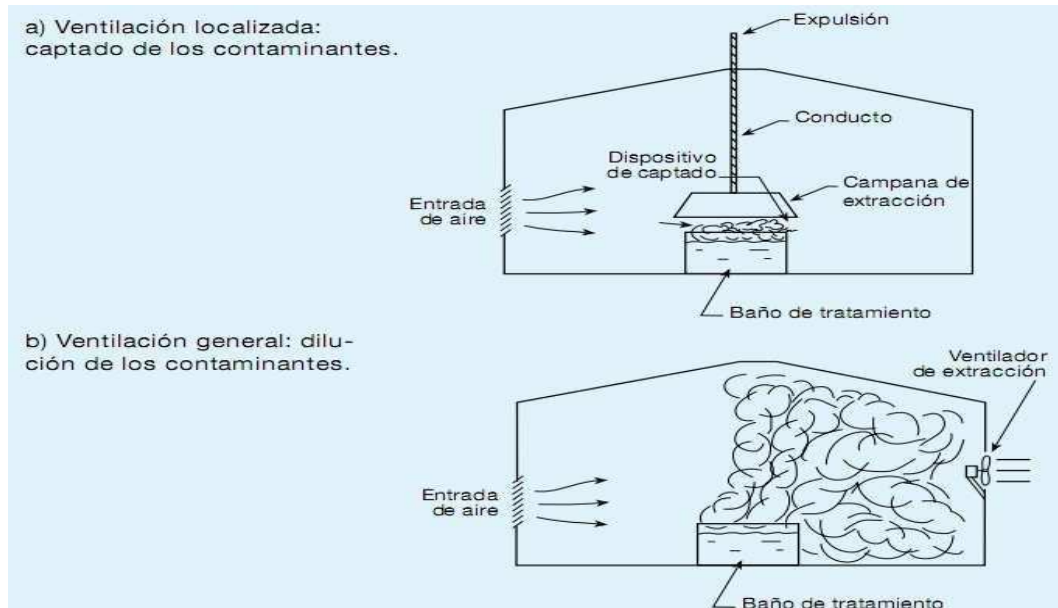
2.1.1. Ventilación general

Se utiliza para la renovación del aire en recintos cerrados, renovando el volumen de aire del interior, por un aire más fresco y puro del exterior. Se utiliza en la ventilación de casas, parqueaderos, restaurantes, hoteles, edificios, entre otros. (Ver ilustración 1)

2.1.2. Ventilación localizada

Se utiliza para captar el aire contaminado en el mismo lugar donde se produce, evitando que éste se extienda por todo el recinto y sea respirado por operarios y mecánicos que se encuentren trabajando allí. Las variables que se deben tener en cuenta para este tipo de ventilación son: la velocidad de captación, la cantidad de contaminación que se genera, la campana que se usará para la captación y los ductos a través de los cuales se llevará el aire contaminado hasta el elemento limpiador. (Ver ilustración 1) (@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

Ilustración 1. Tipos de ventilación.



(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

2.2. VARIABLES DE LA VENTILACIÓN

Para evaluar la ventilación principalmente se usan 2 variables, que son: el caudal y la presión. Estas variables caracterizan el movimiento del aire en los ductos por donde se transporta.

2.2.1. Caudal

Es la cantidad de fluido que pasa por un ducto en una unidad de tiempo. El caudal está ligado a otras dos variables importantes: la sección transversal o área del ducto y la velocidad media a la que es transportado el fluido. Por consiguiente debemos conocer la sección transversal y la velocidad media, para determinar el caudal con la siguiente fórmula:

$$Q = 3600 * v * s \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

Donde:

Q: caudal de aire en m³/h.

v: velocidad media del aire en m/s.

s: sección transversal del ducto en m².

3600: factor de conversión para expresar el resultado en m³/h.

Si se desea expresar el resultado en m³/s, la fórmula sería la siguiente:

$$Q = v * s \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

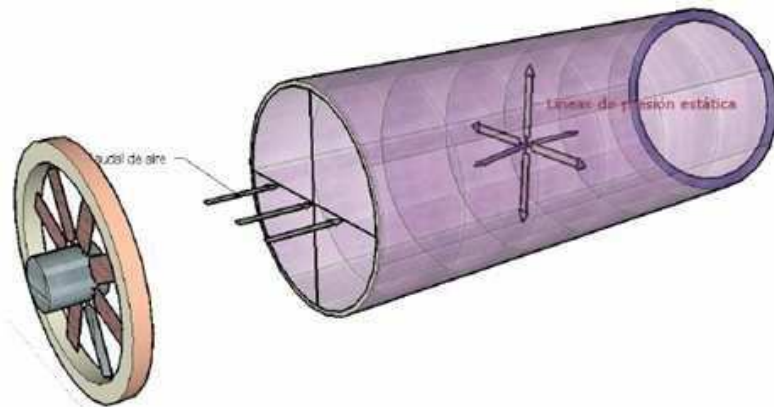
2.2.2. Presión

El aire necesita de una fuerza para poderse mover, esta fuerza por unidad de área se denomina presión. En un sistema de ventilación, se pueden distinguir 3 tipos de presión: la presión estática, la presión dinámica y la presión total.

- Presión estática (Pe): Es la presión que se ejerce en todas las direcciones dentro del conducto. La presión estática es positiva si es mayor a la presión atmosférica o negativa si es menor a ella.

La presión estática sirve para vencer el rozamiento y otras resistencias que se opongan al paso del aire dentro del conducto, no depende de la dirección del aire que circula por este. (Ver ilustración 2)

Ilustración 2.Presión estática.



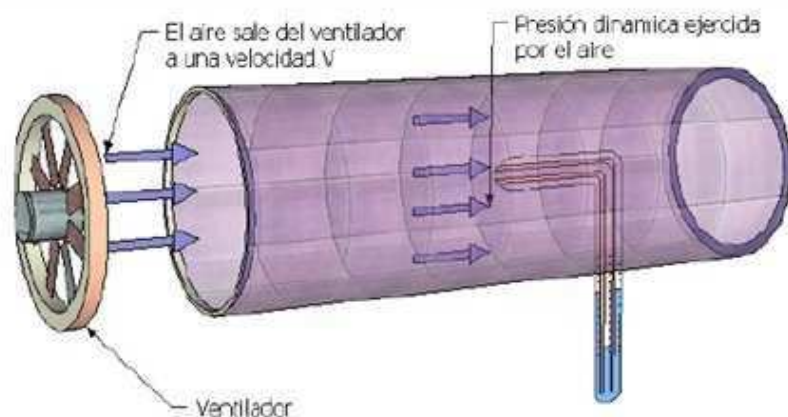
(@, Instalaciones de climatización y ventilación).

- Presión dinámica (Pd): Es la presión que acelera el aire. El ventilador, impulsa el aire que pasa por las aspas, imprimiéndole una aceleración y creando una presión por unidad de tiempo que se manifiesta solo en una dirección, por lo tanto la presión dinámica siempre es positiva. (Ver ilustración 3)

Para calcularla se utiliza la siguiente ecuación:

$$Pd = \frac{v^2}{16} (mm. c. d. a)$$

Ilustración 3.Presión dinámica.

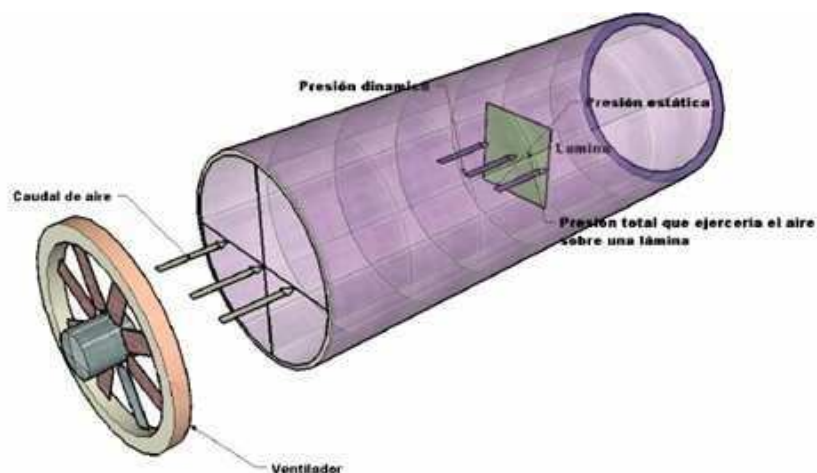


(@, Instalaciones de climatización y ventilación).

- Presión total (Pt): Es la suma de la presión estática y la presión dinámica, vistas anteriormente. (Ver ilustración 4)

$$P_t = P_e + P_d$$

Ilustración 4. Presión total.



(@, Instalaciones de climatización y ventilación).

A continuación se presenta una tabla para la conversión de unidades de presión, según el sistema que se necesite.

Tabla 1. Conversión unidades de Presión.

CONVERSIÓN ENTRE DISTINTAS UNIDADES DE PRESIÓN							
	kp/m ² mm c.d.a.	mm c.d.m.	kp/cm ²	Presión atmosférica	bar	milibar	dinas/cm ²
1 mm c.d.a.	1	0,07355	10 ⁻⁴	10.337 · 10 ⁻⁴	98 · 10 ⁻⁶	98 · 10 ⁻³	98,1
kp/m ²							
1 mm c.d.m.	13,6	1	13,6 · 10 ⁻⁴	13,15 · 10 ⁻⁴	1,33 · 10 ⁻³	1,334	1.334
1 kp/cm ²	10.000	735,5	1	0,966	0,981	9,81 · 10 ²	9,81 · 10 ⁵
1 presión atm.	10.334	760	1,0334	1	1,013	1.013	1,01334 · 10 ⁶
1 bar	10.200	750	1,02	0,985	1	1.000	10 ⁶
1 milibar	10,2	0,75	1,02 · 10 ⁻³	0,985 · 10 ⁻³	10 ⁻³	1	10 ³

(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

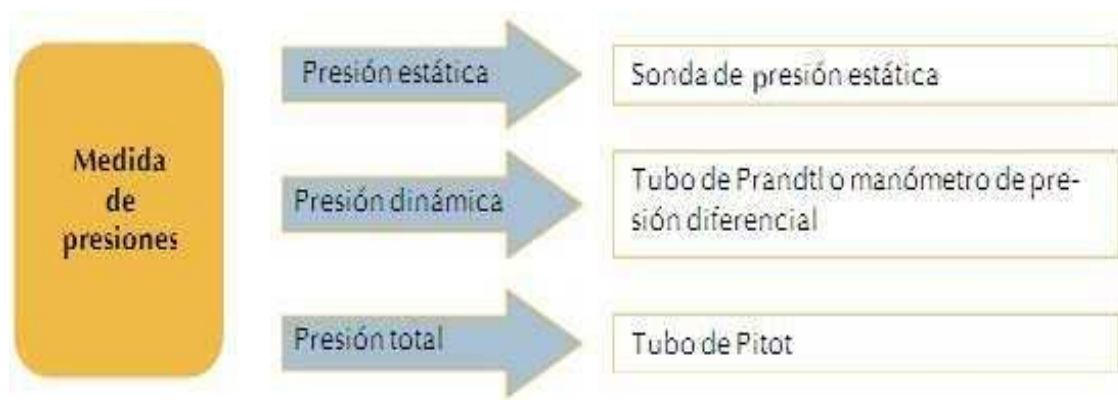
2.3. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Para realizar el mantenimiento, poner en marcha o ajustar las condiciones deseadas de un sistema de ventilación o extracción, se deben controlar las siguientes variables: presión, velocidad del aire y caudal. Para lograr esto deben usar los siguientes instrumentos de medida.

2.3.1. Instrumentos para medir la presión

Existen varios instrumentos para medir los tres diferentes tipos de presión. (Ver ilustración 5)

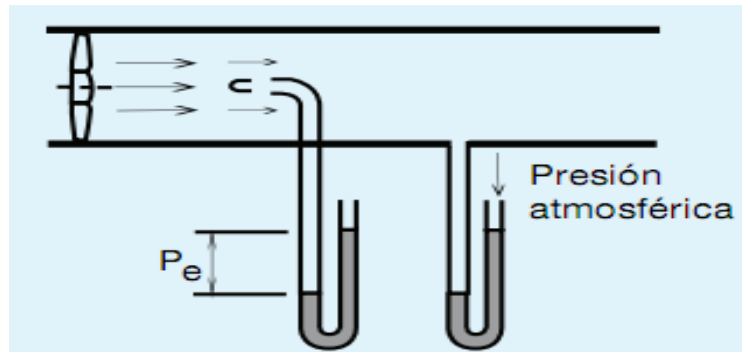
Ilustración 5. Instrumentos básicos para medida de presiones.



(@, Instalaciones de climatización y ventilación).

- Sonda de presión estática: La sonda de presión estática indica el valor medido de la presión estática en una corriente de flujo. Se compone de un tubo de latón, cerrado por un lado y con 2 orificios radiales, lo cual hace que la medición de la presión sea indiferente a la dirección del flujo. También existe otro tipo de sonda de presión estática, que simplemente es un tubo conectado de forma perpendicular al flujo de aire. (Ver ilustración 6)

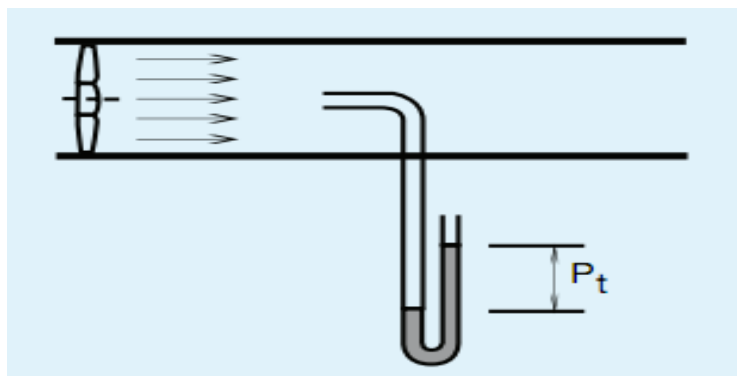
Ilustración 6. Sonda de presión estática.



(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

- Tubo de Pitot: Es un instrumento que mide directamente la presión total del sistema, consta de un tubo abierto que recibe la presión del aire y conecta el otro extremo a un manómetro, donde la diferencia de niveles nos muestra la presión total. (Ver ilustración 7)

Ilustración 7. Tubo de Pitot.

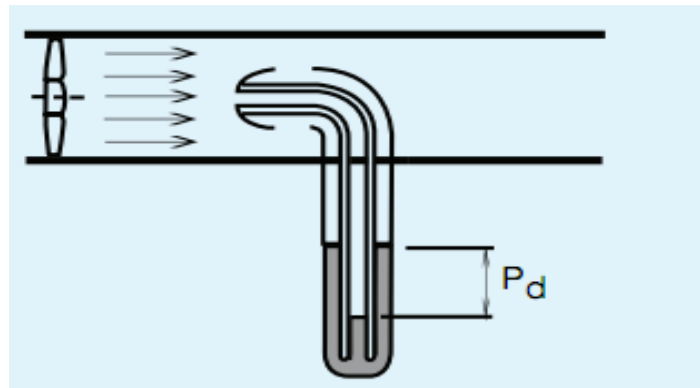


(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

- Tubo de Prandtl: Es un instrumento que consta de la combinación de un tubo de Pitot y una Sonda de presión estática. El tubo central es un tubo de Pitot que está abierto recibiendo la presión del aire y está envuelto por una Sonda que capta la presión estática (Ver ilustración 8). Los extremos de ambos se unen en el mismo manómetro, cumpliendo con la siguiente fórmula.

$$P_d = P_t - P_e$$

Ilustración 8. Tubo de Prandtl.



(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

2.3.2. Instrumentos para medir la velocidad y el caudal

Para medir la velocidad existen varios instrumentos, los más usados son: (Ver ilustración 9)

Ilustración 9. Instrumentos para medida de velocidad y caudal.



(@, Instalaciones de climatización y ventilación).

- La velocidad del aire se puede calcular indirectamente usando la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que se debe conocer el valor de la Presión dinámica obtenido con el Tubo de Prandtl.

$$v = 4 * \sqrt{Pd} \left(\frac{m}{s} \right)$$

La velocidad del aire se puede medir también directamente con los siguientes instrumentos:

Anemómetro de hilo caliente: Utilizan una sonda donde va un hilo metálico que se calienta por efecto Joule y se enfría por el flujo de aire. Su funcionamiento se basa en que la velocidad del aire produce un enfriamiento del hilo, cuando la velocidad sube, la temperatura baja. El circuito electrónico va a intentar mantener la temperatura del hilo, aumentando la intensidad de alimentación, por lo tanto a mayor intensidad mayor velocidad. (Ver ilustración 10) (@, Instalaciones de climatización y ventilación).

Ilustración 10. Anemómetro de hilo caliente.



(@, Instalaciones de climatización y ventilación).

- Anemómetro de hélice o molinete: Consta de una hélice con un pequeño generador de impulsos eléctricos acoplado a un eje, los impulsos se registran por unidad de tiempo y se muestran en la pantalla ya

calibrados a la velocidad del viento. (Ver ilustración 11) (@, Instalaciones de climatización y ventilación).

Ilustración 11. Anemómetro de hélice o molinete.



(@, Instalaciones de climatización y ventilación).

Anemómetro de tubo de Prandtl: Consiste en un tubo de Prandtl conectado a un equipo de medición adecuado para proporcionar directamente la velocidad del aire que circula por un conducto. (Ver ilustración 12) (@, Instalaciones de climatización y ventilación).

Ilustración 12. Anemómetro de tubo de Prandtl.



(@, Instalaciones de climatización y ventilación).

- El caudal se puede medir indirectamente usando el valor de la velocidad con la fórmula antes vista:

$$Q = 3600 * v * s \left(\frac{m^3}{h} \right)$$

2.4. VENTILADORES

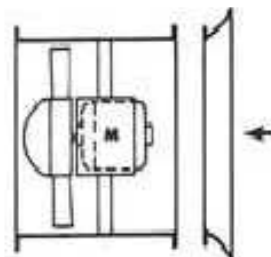
Los ventiladores son turbo máquinas, que se caracterizan por impulsar gases, fluidos incompresibles, para transferir potencia a un rendimiento y eficiencia determinada.

2.4.1. Clasificación de los ventiladores

Los ventiladores utilizados en la industria pueden dividirse en 2 grandes tipos: ventiladores axiales y ventiladores centrífugos.

- Ventiladores axiales: Son ventiladores por los cuales el aire pasa paralelo al eje de rotación (Ver ilustración 13). Existen 3 tipos de ventiladores axiales: helicoidales, tubulares y turbo axiales.

Ilustración 13. Ventiladores axiales.



(@, Artículo, México, 2006).

Helicoidales: utilizados para mover aire con poca pérdida de carga, ventilación general.

Tubulares: tienen álabes estrechos de sección transversal constante, son utilizados para transportar aire que contenga sustancias como humo o pigmentos.

Turbo axiales con directrices: tienen álabes con perfil aerodinámico montados en una carcasa cilíndrica y poseen aletas enderezadoras de flujo en el lado descarga. Se utilizan más que todo para aire limpio, en comparación con los otros tipos de ventiladores axiales, tienen un rendimiento mayor y pueden desarrollar presiones más altas. (Artículo, México, 2006)

- Ventiladores centrífugos: Los ventiladores centrífugos se caracterizan porque el flujo de aire que manejan, lo mueven en dirección perpendicular al eje de rotación (Ver ilustración 14). Estos ventiladores se dividen según el tipo de hélice en: ventiladores de álabes curvados hacia adelante, ventiladores centrífugos radiales y ventiladores de álabes curvados hacia atrás.

Ilustración 14. Ventiladores centrífugos.



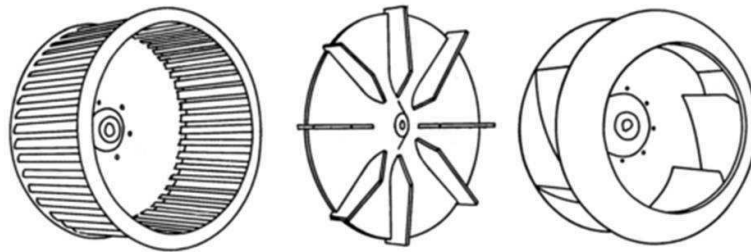
(@, Artículo, México, 2006).

Ventiladores de álabes curvados hacia adelante: son también conocidos como de jaula de ardilla, se utilizan cuando la presión estática necesaria es baja o media, se encuentran en sistemas de calefacción, aire acondicionado o renovación de aire, es muy poco utilizado para el transporte de partículas.

Ventiladores Centrífugos Radiales: tiene la hélice con los álabes dispuestos en forma radial, este ventilador es muy utilizado en los sistemas de extracción succión-impulsión, donde las partículas tienen que pasar a través del ventilador.

Ventiladores de álabes curvados hacia atrás: este tipo de ventilador tiene mayor velocidad y mayor rendimiento, con un nivel sonoro relativamente bajo. (Ver ilustración 15) (Artículo, México, 2006).

Ilustración 15. Tipo de ventiladores centrífugos.

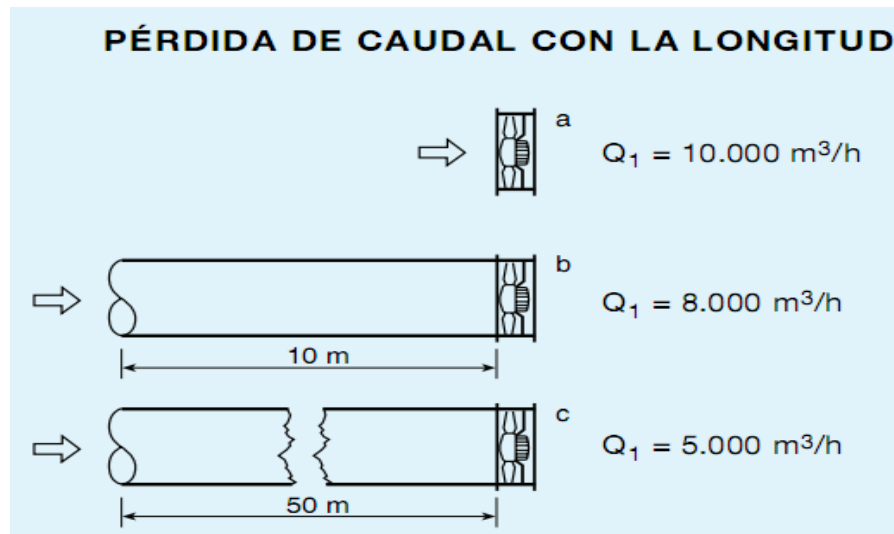


(@, Ventiladores centrífugos, México D.F)

2.4.2. Curva característica de los ventiladores

La curva característica de un un ventilador se obtiene dibujando la curva de los diferentes valores de caudal y presión, obtenidos mediante ensayos en el laboratorio. No es suficiente conocer el caudal del ventilador a descarga libre, se deben conocer los caudales y presiones proporcionados por el ventilador según las distintas pérdidas de carga que este deba vencer. (Ver ilustración 16)

Ilustración 16. Pérdida de caudal según la longitud.

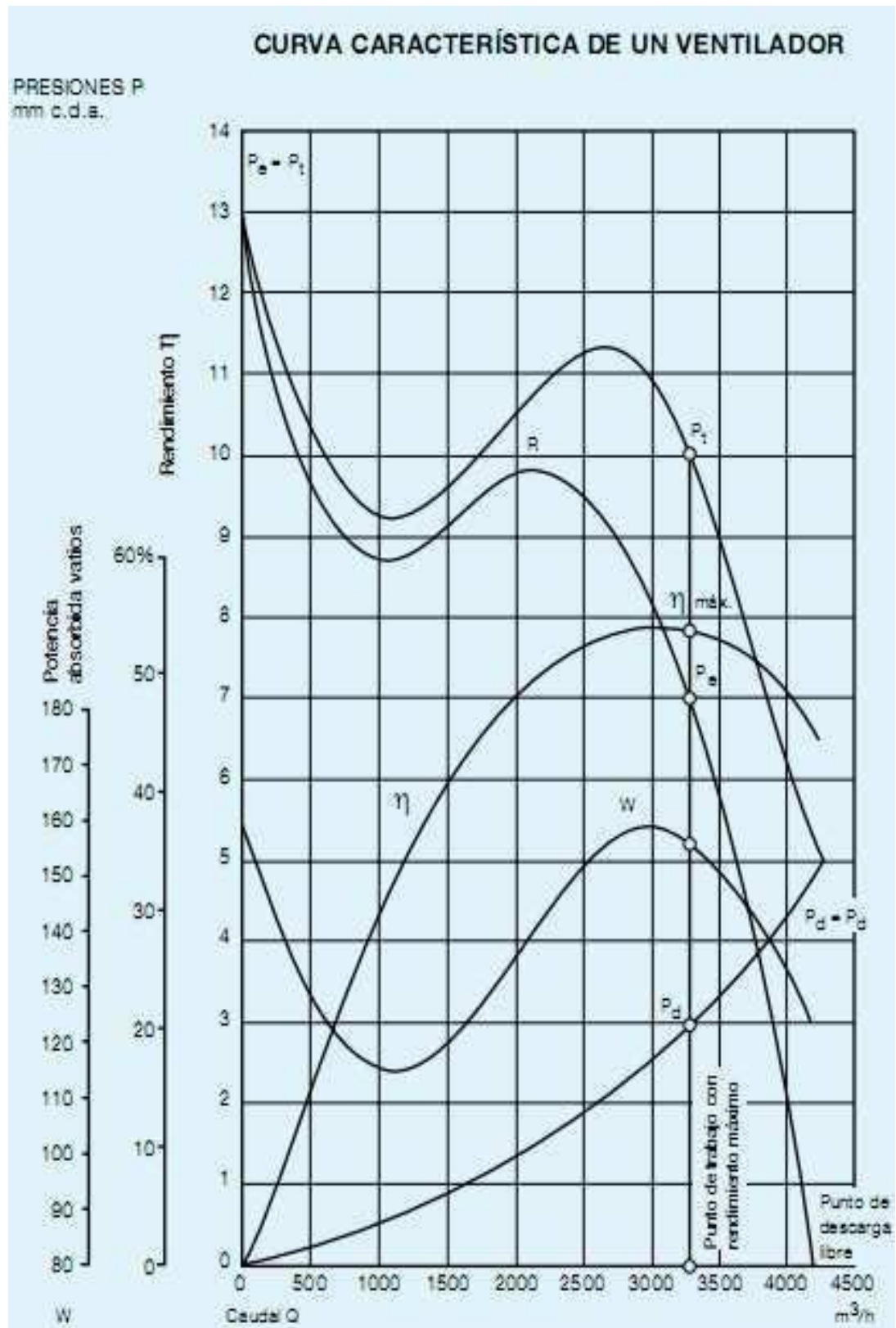


(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

En la siguiente ilustración se pueden ver las diferentes curvas, cada una de ellas representan un valor distinto, de las principales variables de los ventiladores como son: la presión estática, presión dinámica y presión total, como se puede observar en la siguiente ilustración, cuando la presión estática es 0, el ventilador da el máximo caudal y la presión dinámica es igual a la presión total; cuando el ventilador está taponado, da el mínimo caudal, la presión dinámica es 0 y la presión estática es igual a la presión total. Otra curva que se puede ver es la curva de la potencia absorbida (w), ésta curva nos da la potencia que consume el motor del ventilador. También se encuentra la curva del rendimiento (η), que se da en %, se puede ver en la ilustración que el rendimiento depende del caudal que se esté moviendo. Todas estas curvas reciben el nombre de características de un ventilador. (Ver ilustración 17) (@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

Normalmente en los catálogos comerciales de los ventiladores solo se suele dar una curva, la de mayor importancia que es la de Presión estática, pero se pueden solicitar el resto de curvas para tener una mejor referencia del mismo.

Ilustración 17. Curva característica de un ventilador.



(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

2.4.3. Punto de trabajo de un ventilador

La curva característica, solo depende del ventilador y cambia únicamente si se modifica la velocidad de rotación, siendo independiente del sistema de conductos al que esté acoplado.

Para saber en que condiciones va a funcionar el ventilador, debemos conocer la curva resistente de la instalación; es la que relaciona la pérdida de carga con el caudal que pasa por ella. Se puede encontrar el punto de trabajo fácilmente superponiendo la curva resistente de instalación en la curva característica del ventilador.

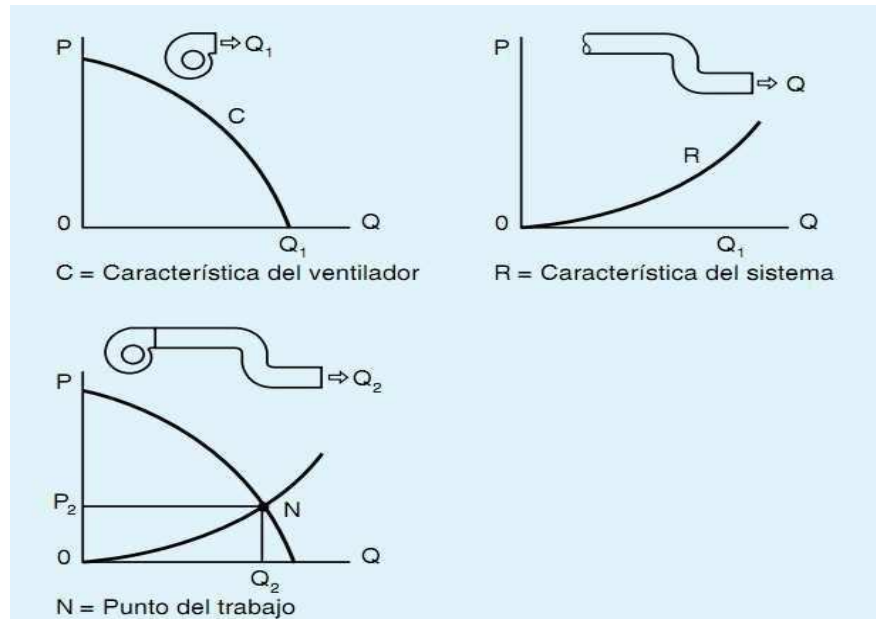
Está comprobado que la pérdida de carga de una conducción varía según el cuadrado del caudal:

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 * \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2$$

Con encontrar la pérdida de carga inicial a un caudal determinado, se pueden suponer otros caudales y hallar nuevos puntos de pérdida de carga. Uniendo los puntos encontrados, se representa la curva resistente de instalación.

Con la intersección de las curvas del ventilador y la curva resistente de instalación, obtenemos el punto de trabajo. (Ver ilustración 18) (@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

Ilustración 18. Punto de trabajo de un ventilador.



(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

2.4.4. Leyes de los ventiladores

Las curvas características siguen ciertas leyes, que permiten determinar como varía el caudal, presión y potencia cuando cambian las condiciones de funcionamiento. (Ver ilustración 19)

Ilustración 19. Leyes de los ventiladores.

Leyes de los ventiladores			
Si varía...	y permanecen constantes	Se cumple	
Diámetro hélice, d	• Velocidad • Densidad • Punto de funcionamiento	El caudal La presión La potencia absorbida	es proporcional al cubo de la relación de diámetros. es proporcional al cuadrado de la relación de diámetros. es proporcional a la quinta potencia de la relación de diámetros.
Velocidad de rotación, n	• Diámetro de la hélice • Densidad	El caudal La presión La potencia absorbida	es proporcional a la relación de velocidades. es proporcional al cuadrado de la relación de velocidades. es proporcional al cubo de la relación de velocidades.
Densidad del aire, ρ	• Caudal • Velocidad	La presión La potencia absorbida	es proporcional a la relación de densidades. es proporcional a la relación de densidades.

(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

El caudal es proporcional a la relación de velocidades.

$$Q_2 = Q_1 * \left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

La presión es proporcional al cuadrado de la relación de velocidades.

$$P_2 = P_1 * \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

La potencia absorbida es proporcional al cubo de la relación de velocidades.

$$N_2 = N_1 * \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

2.5. SISTEMAS DE CAPTACIÓN

Son conocidos también como campanas, tiene como función evitar que los contaminantes se esparzan por todo el recinto, este sistema de captación o campana, debe ser elegido según se acomode mas al diseño del sistema de extracción, pues la atracción de las moléculas disminuye según se incremente la distancia de la campana al foco contaminante.

Existen varios tipos de campanas tales como:

2.5.1. Encerramientos

Mientras mayor encerramiento del contaminante mayor eficiencia y economía, se usan en procesos donde se puede aplicar un encerramiento total.

2.5.2. Cabinas

Son muy parecidas al anterior, con la diferencia que una de sus paredes está abierta para el ingreso del operario o de las piezas que actúan en el proceso.

2.5.3. Campanas externas

Son utilizadas cuando no existe espacio o es imposible encerrar en una cabina el proceso. Estas campañas se deben diseñar para captar el material particulado a una velocidad adecuada.

2.5.4. Campanas de captura lateral

Son usadas cuando los trabajadores están expuestos a un contaminante, como vapores, gases o neblinas. Con el fin de que el contaminante sea extraído lateralmente y no entre en contacto con el trabajador.

2.5.5. Sistemas de ranuras para tanques abiertos

Son utilizados para extraer vapores producidos por procesos en tanques abiertos. (Libro “Ventilación Industrial”, Medellín 1988)

2.6. SEPARADORES DE PARTÍCULAS

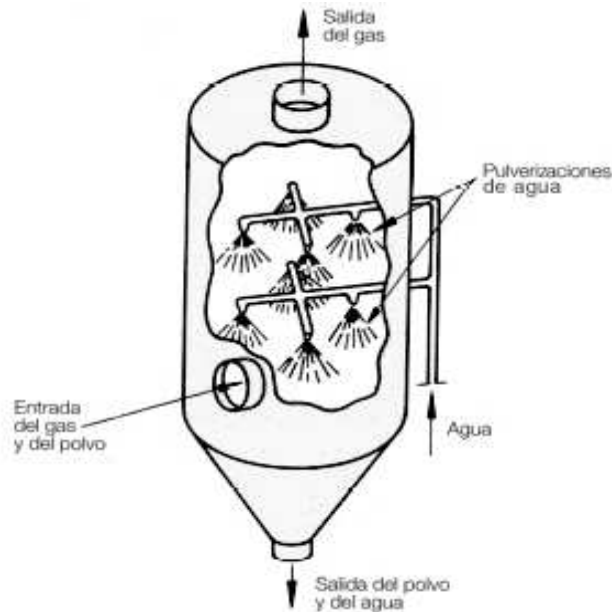
El aire captado por el sistema de extracción debe pasar por un equipo que realice su limpieza, separando el aire del material particulado y así poder enviar este aire limpio a la atmósfera nuevamente, sin ningún riesgo para la comunidad. (Libro “Ventilación Industrial”, Medellín 1988)

Hay varios tipos de separadores de partículas, los más comúnmente utilizados en la industria son:

2.6.1. Depuradores mojados

En estos sistemas, se utiliza un líquido, principalmente agua, el cual entra en contacto con el gas que contiene las partículas, de este modo las partículas se vuelven más pesadas con el agua y se separan mediante la gravedad. Mientras el agua esté en mayor contacto con el gas más alta es la eficiencia. (Ver ilustración 20)

Ilustración 20. Depuradores con agua.



(@, Soler & Palau, Depuración del aire, Hojas Técnicas, 2006).

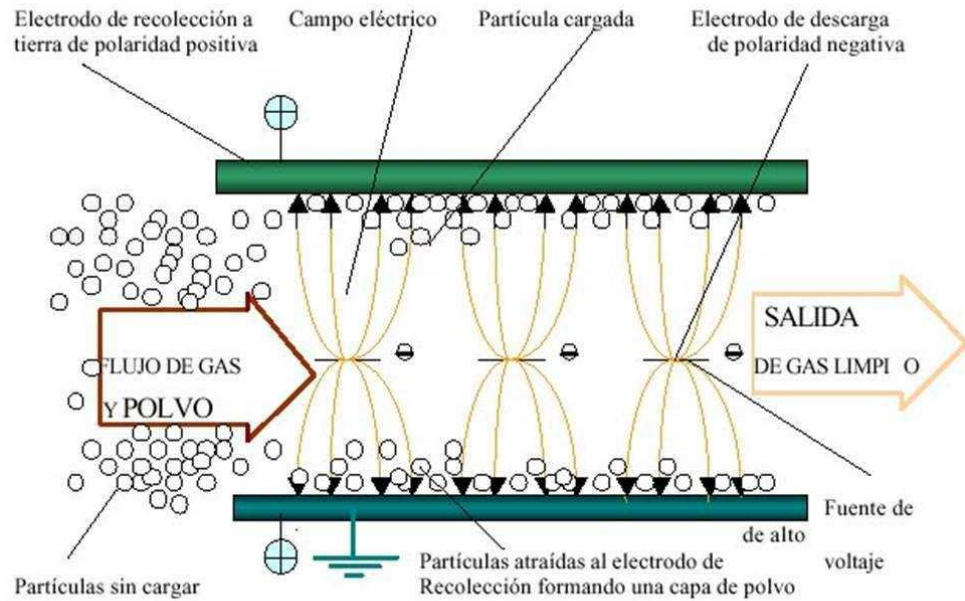
2.6.2. Precipitadores electrostáticos

Utilizan fuerzas electrostáticas para atrapar las partículas que vienen con el gas, éstas son cargadas negativamente mientras pasan por un campo ionizado. Por lo tanto las partículas cargadas, son atraídas por un electrodo puesto a tierra o cargado negativamente, separándolas del fluido.

Los precipitadores electrostáticos son dispositivos muy eficientes, son capaces de eliminar hasta el 99% de las partículas contaminantes. (Ver ilustración 21)

(@, Publicación "Precipitadores electrostáticos", 2010)

Ilustración 21. Precipitadores electrostáticos.



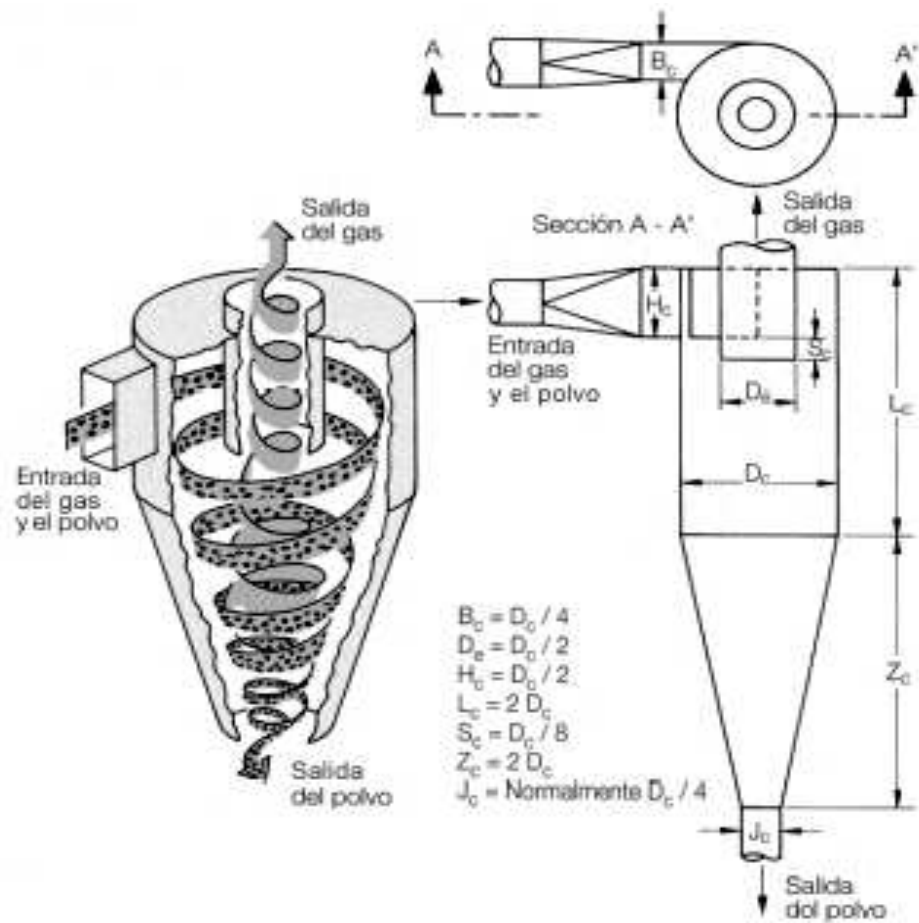
(@, Publicación "Precipitadores electrostáticos", 2010)

2.6.3. Separadores centrífugos (ciclón)

En un ciclón, el flujo de gas con las partículas entra en un ángulo al separador y se hace girar rápidamente, esta fuerza centrífuga que se crea, hace que las partículas que son más pesadas golpeen la pared y caigan a una tolva localizada en la parte inferior del ciclón y el gas limpio se va a la atmosfera.

Este tipo de separador es usado cuando es necesario separar partículas con un diámetro superior a $5\mu\text{m}$. (Ver ilustración 22) (@, Soler & Palau, Depuración del aire, Hojas Técnicas, 2006).

Ilustración 22. Ciclón.



(@, Soler & Palau, Depuración del aire, Hojas Técnicas, 2006).

2.6.4. Filtros de mangas

Sirven para separar las partículas de polvo de un fluido, son uno de los equipos más representativos de la separación solido-gas, son utilizados en diversos procesos industriales tales como cemento, yeso, caucho, química, automovilística, granos, entre muchas otras.

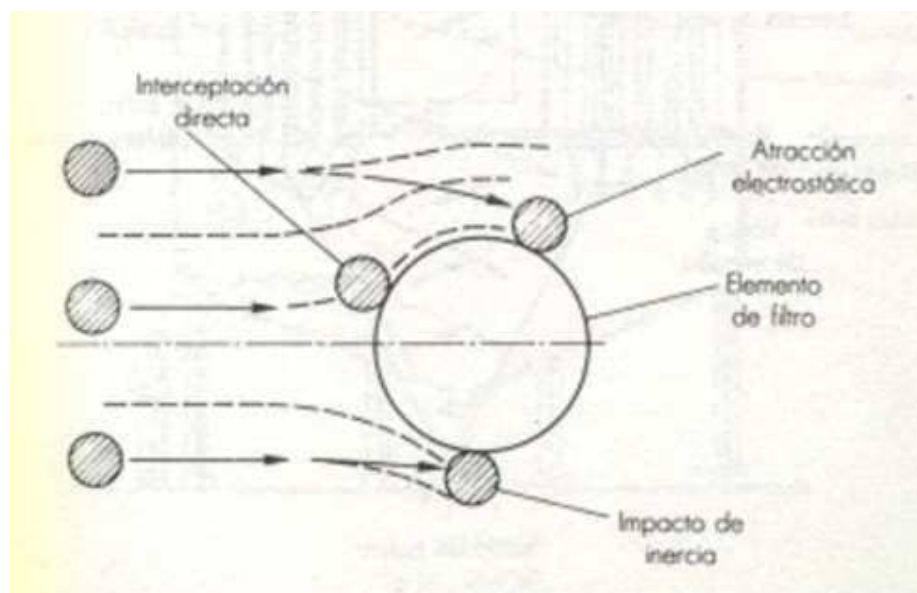
Existen 3 posibilidades de colección con estos filtros de mangas, que son:

- La fibra intercepta directamente las partículas cuando la trayectoria del flujo que contiene la partícula pasa la mitad de la partícula por el filtro.

- Las partículas sufren un impacto cuando el fluido viene con mucha fuerza, haciendo que éstas caigan debido a la gravedad.
- Las partículas de tamaños más pequeños hacen contacto con la fibra del filtro, cargándose electrostáticamente, por lo cual otras partículas se ponen en contacto como resultado de la atracción. (Ver ilustración 23) (@, Filtros de mangas, emison)

Mediante el tiempo, se va formando una costra alrededor de las mangas, lo cual incrementa la eficiencia del filtro, pero reduce la velocidad, por esta razón también es demasiado importante hacerle un mantenimiento periódico, mediante la agitación de las telas o la inversión del flujo de aire.

Ilustración 23. Filtros de mangas.



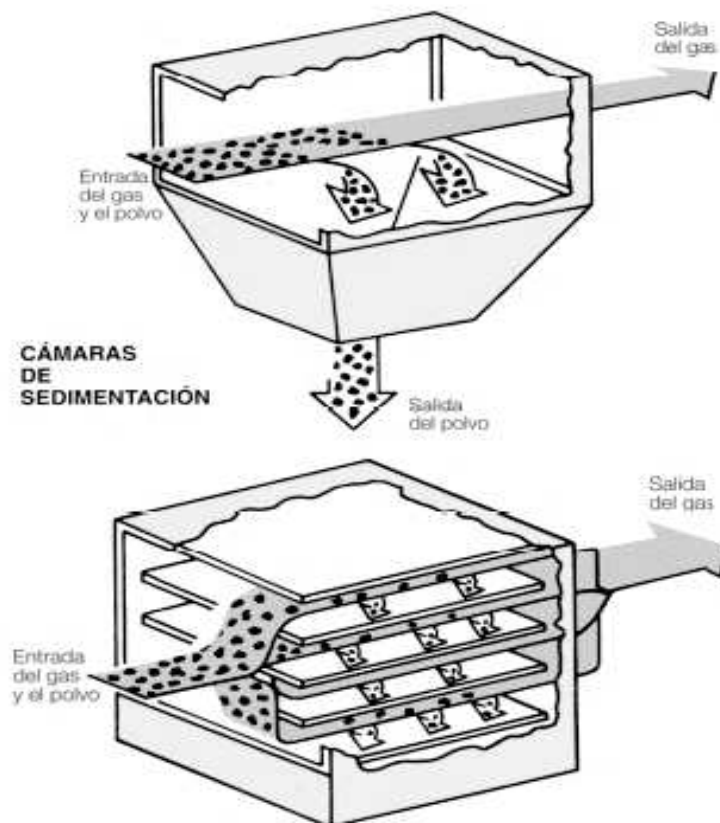
(@, Filtros de mangas, emison)

2.6.5. Separadores por gravedad

Estos son los más utilizados por su sencillez, son utilizados para extraer polvo relativamente grueso, del orden de 200µm. Su funcionamiento es bastante

sencillo, el aire cargado con polvo, pasa por una cámara de sedimentación donde se disminuye la velocidad, por lo cual una parte de las partículas abandonan la corriente de aire debido a la fuerza de gravedad. El rendimiento de este tipo de separadores es relativamente bajo, menor al 50%. (Ver ilustración 24) (@, Soler & Palau, Depuración del aire, Hojas Técnicas, 2006).

Ilustración 24. Cámara de sedimentación.



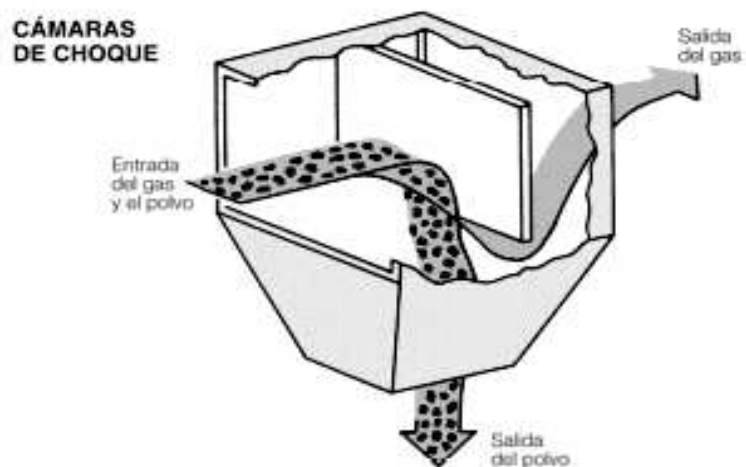
(@, Soler & Palau, Depuración del aire, Hojas Técnicas, 2006).

2.6.6. Separadores por cámaras de choque o de momento

Es muy similar a las cámaras de sedimentación, con la diferencia que se intercalan dentro de ellas unas pantallas, forzando a que el fluido contaminado cambie drásticamente de dirección y hace que las partículas choquen, imprimiéndoles una fuerza inercial y de gravedad que actúan hacia abajo sobre éstas, lo que produce que se precipiten y caigan a una tolva en la parte inferior.

Los separadores de partículas por choque son utilizados para controlar principalmente Material particulado (MP), de diámetro aerodinámico de más de $10\mu\text{m}$. (Ver ilustración 25) (@, Hojas de datos EPA, Técnicas de control de contaminantes del aire, Separadores de Momento)

Ilustración 25. Cámara de choque.



(@, Soler & Palau, Depuración del aire, Hojas Técnicas, 2006).

2.7. DUCTOS Y ACCESORIOS

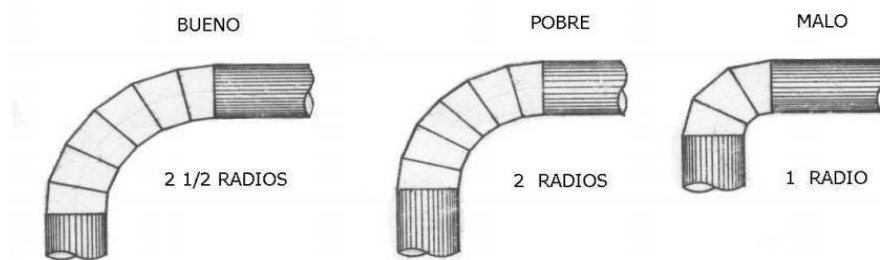
En la ventilación los ductos sirven como canales para transportar el aire contaminado desde el elemento captor o campana hasta el punto donde se realiza la descarga, las formas de construcción más comunes de estos ductos en la industria son: las rectangulares, las cuadradas y las circulares. (Libro "Ventilación Industrial", Medellín 1988)

Además de los ductos existen otros accesorios que son:

2.7.1. Codos

Son accesorios de un sistema de ductos, éstos deben tener un radio de 2 a 2,5 veces el diámetro del ducto para evitar pérdidas por roce y turbulencias. (Ver ilustración 26)

Ilustración 26. Accesorios, codos.

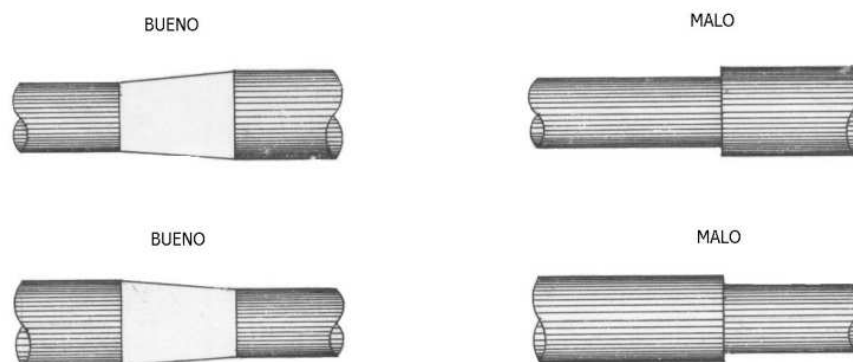


(@, Kurú, Revista Forestal, 2006).

2.7.2. Transiciones

Son accesorios que se utilizan para aumentar o disminuir el diámetro de los ductos según requiera el diseño. Deben ser construidos a un ángulo adecuado para evitar pérdidas de presión en el sistema debido a turbulencias. (Ver ilustración 27)

Ilustración 27. Transiciones.



(@, Kurú, Revista Forestal, 2006).

2.8. GENERALIDADES DE LOS EXTRACTORES

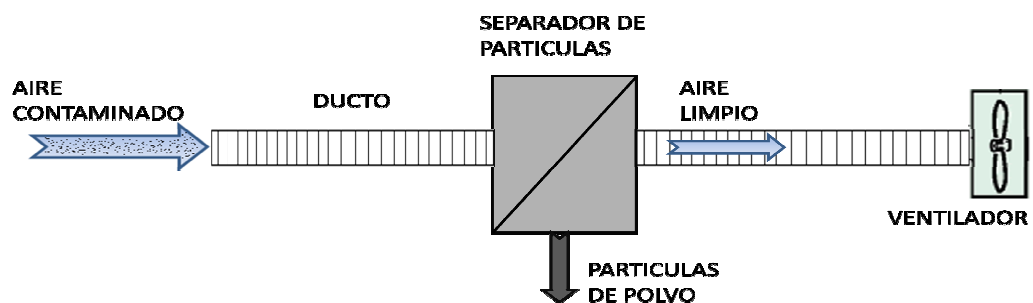
Los extractores son muy utilizados y son de gran importancia en todo tipo de industrias como la alimenticia, papelera, plástica, metalmecánica, cosmética y la maderera, que es una de las que más depende de estos, ya que allí se produce una gran cantidad de polvo de madera, aserrín y viruta. Los extractores proporcionan varios beneficios como el aseo, la seguridad, óptimas condiciones ambientales y de trabajo.

Las aplicaciones principales que se les da a los extractores son, la recuperación de sólidos valiosos de corrientes generadas en un proceso, quitar sólidos contaminantes de los gases que se tiran al ambiente, la purificación del aire, eliminación de gases en edificaciones, casas o empresas y la eliminación de polvo, viruta y demás partículas en un proceso de producción. (@, Diaz Tafur, 2009)

Los componentes principales para formar un extractor son: (Ver ilustración 28)

- Ventilador.
- Separador de partículas.
- Ductos.

Ilustración 28. Diagrama de flujo de un extractor.



(Elaboración propia, 2011).

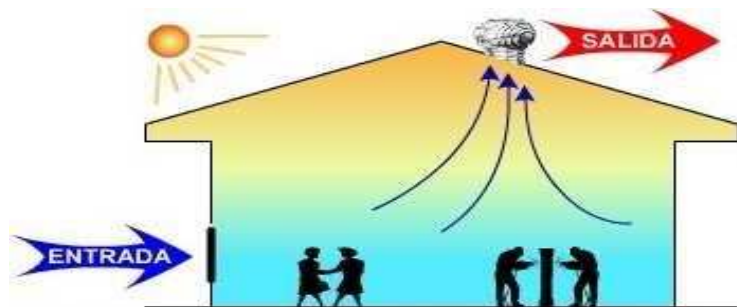
2.9. TIPOS DE EXTRACTORES

2.9.1. Según la energía utilizada para realizar su trabajo:

Existen dos tipos de extractores según la energía utilizada para mover las aspas y de este modo realizar la extracción:

- **Extractores Eólicos:** Los extractores eólicos son los que aprovechan la energía del viento para mover las aspas y así realizar su función. Trabajan constantemente por la energía del viento y se forma un diferencial de temperatura de la parte interna y externa del recinto donde está ubicado, lo que produce la salida del aire caliente, que es compensado por las ventanas ubicadas estratégicamente. (Ver ilustración 29) (@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

Ilustración 29. Sistema de ventilación eólico.



(@, Exovent).

- **Extractores con motor eléctrico:** Son los extractores que cuentan con un motor eléctrico para mover las aspas y así poder realizar la extracción. (Ver ilustración 30)

Ilustración 30. Extractor con motor eléctrico.



(@, Gatti ventilación).

Aunque los primeros presentan altas ventajas por el bajo consumo de energía y ser más silenciosos, se debe escoger uno u otro dependiendo de la necesidad de extracción que se necesite, el espacio disponible que haya y el tamaño del equipo. (@, Servicios de conserjería instalaciones y equipos, 2009).

2.9.2. Según el sistema de extracción

La extracción se produce debido a las diferencias de presiones que se crean en el sistema de succión, de acuerdo a esto los sistemas más utilizados en la industria son:

- **Succión-Impulsión:** Este sistema transporta el material mediante la succión en la primera parte de los ductos y después la transporta mediante impulsión luego que el material pasa a través del ventilador, hasta llegar al sistema separador de partículas, donde se hace la separación del material que se recoge en un silo y del gas que va a la atmosfera.

Este sistema tiene algunas desventajas como el desgaste de las aspas, por el paso del material a tan alta velocidad, lo que puede producir el desbalance del ventilador. (Ver ilustración 31) (@, Kurú, Revista Forestal, 2006).

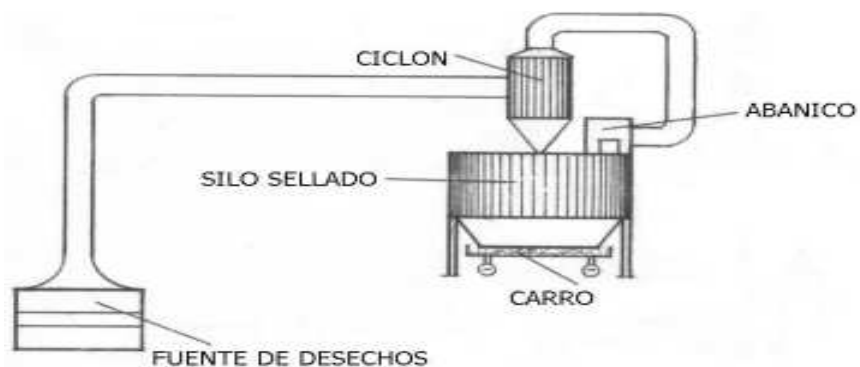
Ilustración 31. Extractor de sistema tipo succión-impulsión.



(@, Kurú, Revista Forestal, 2006).

- **Succión total:** Este sistema hace referencia a que todo el material se transporta únicamente mediante la succión, por esta razón el ventilador se encuentra ubicado en la última posición de todos los componentes; y a diferencia del sistema anterior, el material no pasa entre las aspas del ventilador, pues antes de este se instala un separador de partículas y es allí donde las partículas caen a un silo y el aire limpio circula entre las aspas del ventilador hacia la atmosfera. (Ver ilustración 32) (@, Kurú, Revista Forestal, 2006).

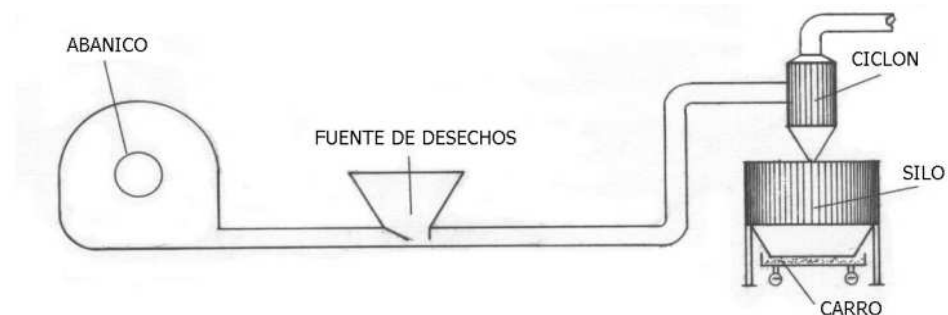
Ilustración 32. Extractor de sistema tipo succión total.



(@, Kurú, Revista Forestal, 2006).

- Impulsión con tubo venturi: En este sistema el ventilador va ubicado en la primera posición, luego de este va un eductor o eyector, donde se produce un vacío que causa la extracción del material y luego, este material es impulsado al separador de partículas, donde se separan las partículas que van a un silo del gas que va a la atmósfera. (Ver ilustración 33) (@, Kurú, Revista Forestal, 2006).

Ilustración 33. Extractor de sistema tipo venturi.



(@, Kurú, Revista Forestal, 2006).

3. PRINCIPIOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

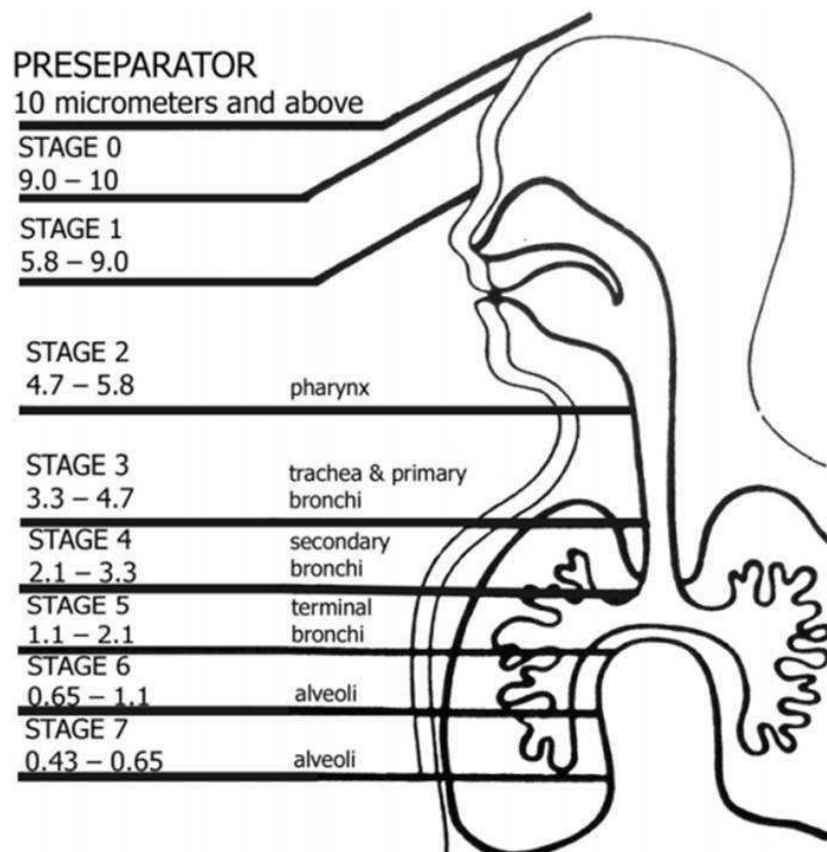
Debido a la contaminación ambiental que se produce por el material particulado en procesos industriales, se hace necesario estudiar las características físicas de las partículas, para captarlas y así evitar efectos en la salud de las personas, como:

- La alteración de las funciones fisiológicas (ventilación de los pulmones, transporte de O_2 por la hemoglobina, etc.)
- La disminución de la capacidad (atlética, de aprendizaje, etc.)
- Irritación del sistema sensorial (gusto, olor, visibilidad.)
- Impedimento del crecimiento y/o desarrollo.

- Almacenamientos de agentes peligrosos en el cuerpo.
- Acortamiento de la vida.
- Enfermedades crónicas (bronquitis, asma.)
- Enfermedades agudas (cáncer de piel, cáncer de pulmón) o la muerte.

El material particulado o partículas en suspensión respirables por el ser humano varían su tamaño (Ver ilustración 34), y se dividen en 2 grupos principales, en partículas gruesas y partículas finas; las partículas gruesas son de tamaño mayor a $2,5\text{ }\mu\text{m}$ y menor a $10\text{ }\mu\text{m}$, y las partículas finas son las de tamaño inferior a $2,5\text{ }\mu\text{m}$.

Ilustración 34. Penetración de las partículas en el sistema respiratorio según el tamaño.



(@, Tisch Environmental, Ambient Cascade Impactor, Operations Manual, 1999).

En este proyecto se va a determinar la concentración y distribución del tamaño de las partículas, que se generan en el proceso de rectificado de rodillos de caucho en la empresa Productos Familia.

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO

Para determinar de una manera adecuada la contaminación atmosférica que genera un proceso industrial, primero se debe caracterizar el material particulado, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

3.1.1. Agregación

Es la forma como se agrupa el material particulado. En general son partículas entre 0,01 y 100 μ para los siguientes tipos de agregación:

- Aerosoles.
- Cenizas volantes (Fly ash): sólidos.
- Fog: líquido.
- Fume: sólidos.
- Hollín: polvo rico en carbón.
- Humo (Smoke): aerosoles producto de combustión y condensación de vapores de reacciones químicas.
- Niebla, vapor (Mist): líquido.
- Polvo (Dust): sólidos.
- Smog: Humo (Smoke) + Niebla (Fog).

3.1.2. Composición química

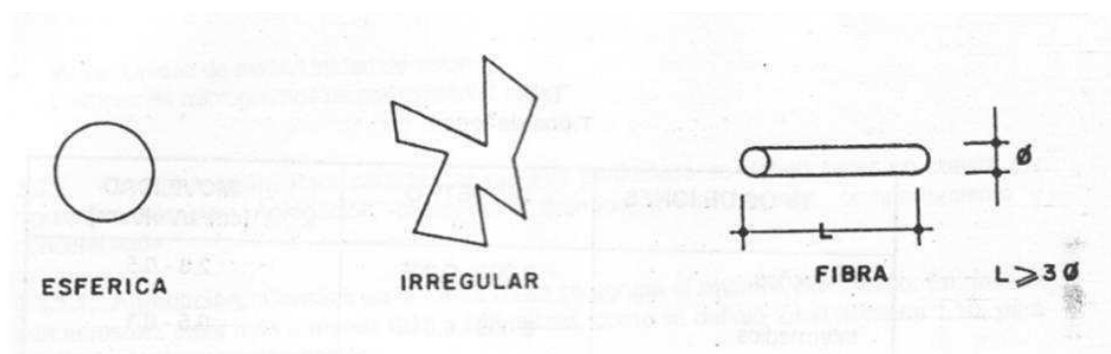
Determinación cuantitativa y cualitativa de los elementos y compuestos que forman parte del material particulado.

3.1.3. Forma

Las partículas se clasifican en esféricas y no esféricas, estas últimas se clasifican en irregulares y fibras.

Las fibras son las que tienen una longitud mayor o igual a tres veces el diámetro de la partícula (Ver ilustración 35).

Ilustración 35. Formas del material particulado.



(GIRALDO SALINAS, Jaime Ramiro. Curso “Principios para el diagnóstico de la contaminación atmosférica”, UPB)

3.1.4. Tamaño

El método de medida depende del tamaño de las partículas. El tamaño de las partículas normalmente se da en micras (μ). Existen muchos procedimientos para efectuar un análisis granulométrico o de tamaño de partículas; los más comunes son:

- Microscopia: Por medio de un microscopio se puede determinar el tamaño de las partículas de hasta $0,005\ \mu$ y determinar igualmente el número de partículas.
- Tamizado: Con este método se obtiene el diámetro físico de las partículas, haciendo pasar la muestra por diferentes tamices.
- Método de los vasos, sedimentación: Con este método, se pueden separar partículas de hasta $0,1\ \mu$. Está basado en el tiempo de decantación de una solución homogenizada, mediante el principio donde la velocidad de caída es proporcional al cuadrado del radio del tubo en el cual se encuentra la disolución.
- Impactador de cascada: Consiste en un dispositivo con unos platos apilados uno sobre otro, los cuales poseen perforaciones cada vez más pequeñas, para aumentar la velocidad del fluido cargado de partículas y así, captar cada vez partículas de menor tamaño, según vaya pasando el flujo por las diferentes etapas o platos.

3.1.5. Diámetros

- Físico: Se obtiene mediante el uso de tamices.
- Aerodinámico: Comparación de 2 partículas, una de las cuales es una esfera perfecta, de superficie pulida y con densidad unitaria; con otra partícula, no esférica y no lisa, que tiene densidad desconocida; si ambas tienen velocidad de sedimentación igual, estas 2 partículas se dice, que tienen igual diámetro aerodinámico.

- Stokes: Si se tienen 2 partículas, una de diámetro conocido y otra irregular pero con velocidades de caída y densidades iguales, se puede decir que la partícula no esférica, tiene un diámetro Stokes igual al diámetro de la partícula esférica.

3.1.6. Distribución por tamaño de partículas

Ésta información es de gran importancia para la selección de métodos de medición y métodos de captura de material particulado.

- Datos de distribución por tamaño de partículas: Se presenta la información de la distribución del tamaño de partículas, por medio de una tabla.
- Histograma de distribución por tamaño de partículas: Se presenta la información de la distribución del tamaño de partículas por medio de una gráfica, para facilitar la comprensión de los datos. (GIRALDO SALINAS, Jaime Ramiro. Curso “Principios para el diagnóstico de la contaminación atmosférica”, UPB)

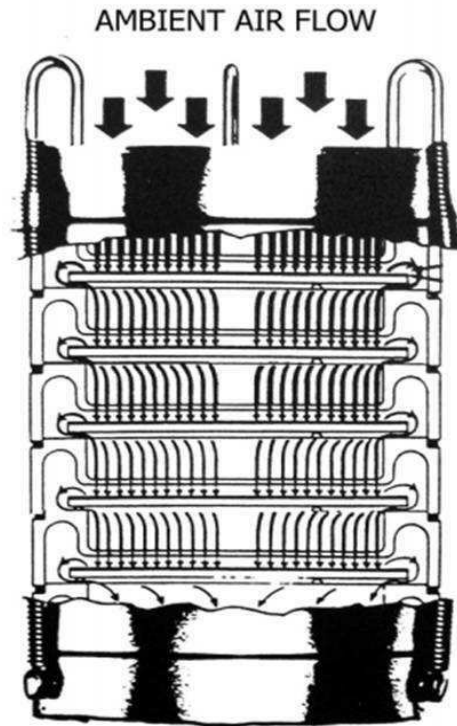
3.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN IMPACTADOR DE CASCADA

Un impactador de cascada es utilizado para fraccionar las muestras de partículas y poder obtener la descripción de ellas como función de su tamaño.

Utiliza una bomba de vacío, que succiona aire, recogiendo las partículas que se encuentran suspendidas en él. El aire entra a alta velocidad al equipo, allí éste pasa por diferentes platos o etapas del impactador, cada plato tiene

perforaciones de diferentes diámetros que alteran la velocidad del aire, causando que las partículas cuyos diámetros sean mayores al diámetro de corte del plato, impacten y se queden en la superficie del plato, mientras las partículas de menor tamaño continúan a la siguiente etapa. (Ver ilustración 36)

Ilustración 36. Impactador de cascada.



(@, Tisch Environmental, Ambient Cascade Impactor, Operations Manual, 1999).

El aire se acelera mientras pasa por los platos, retirando partículas cada vez más pequeñas en cada etapa subsecuente, este proceso continúa hasta que las partículas menores a $0,4\ \mu\text{m}$; son colectadas en un filtro dispuesto en la parte final del dispositivo.

Las partículas en un impactador de cascada son clasificadas por su diámetro aerodinámico, algo que es importante en muchos campos de estudio, como en el ámbito de la salud y como en este caso, el ámbito de la ingeniería. (@, PRIETO BELTRAN, Julio. Tesis "Determinación de tamaño y concentración de

partículas en una industria de procesamiento de agregados utilizando un impactador de cascada”, 2003)

3.3. DESCRIPCION DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL CON EL IMPACTADOR DE CASCADA

Debido a las características del material particulado que se produce en el proceso de rectificado de rodillos de caucho en la empresa Productos Familia, se utilizó un impactador de cascada, TISCH ENVIRONMENTAL serie 460 de 8 platos, al cual se le acopló una bomba de vacío calibrada a 28 LPM; todo esto facilitado por el Laboratorio de Salud Pública, de la Sede de Investigación de la Universidad de Antioquia; por intermedio de la Ingeniera Gladis Arias.

Este dispositivo consta de 8 platos apilados uno sobre otro, los cuales poseen orificios secuencialmente más pequeños, para separar inercialmente las partículas del flujo de aire, desde un tamaño aerodinámico de 0,4 μm hasta 10 μm ; el material menor a 0,4 μm es colectado en un filtro de cuarzo colocado en la parte final del impactador.

Antes de comenzar el análisis, se pesaron los 8 platos que conforman el impactador, en el Laboratorio de Suelos de la Universidad EAFIT y un filtro de cuarzo suministrado por el Laboratorio de Salud Pública de la Sede de Investigación de la Universidad de Antioquia; con el fin de conocer el peso inicial de cada etapa.

Luego de este procedimiento se llevó el equipo a la zona de rodillos de la empresa Productos Familia, donde se encuentra el torno rectificador; el equipo se situó a aproximadamente 1 metro de distancia del foco donde se produce el material particulado. El impactador trabajó las 3 horas que demoró el proceso

de rectificado, el día 30 de Agosto de 2011, el cual comenzó a las 4:10 de la tarde y finalizó a las 7:20 de la noche. (Ver ilustración 37)

Ilustración 37. Análisis ambiental en el proceso de rectificado.



(Elaboración propia, Productos Familia, 2011).

El día siguiente, se llevó el impactador al Laboratorio de Suelos de la Universidad EAFIT, donde se pesaron nuevamente los 8 platos; y el filtro de cuarzo se llevó al Laboratorio de Salud Pública de la Sede de Investigación de la Universidad de Antioquia, para ser pesado igualmente. Todo esto se hizo con el fin de conocer la masa neta adquirida en cada etapa y en el filtro del impactador, con una simple diferencia, del peso final y el peso inicial. (Ver ilustración 38)

Ilustración 38. Platos del impactador, luego del análisis.



(Elaboración propia, 2011).

Luego de pesar los platos, se procede a realizar la tabla (Ver tabla 2) y la gráfica (Ver ilustración 39) de concentración y distribución por tamaño de partículas.

Tabla 2. Distribución por tamaño de partículas.

IMPACTADOR DE CASCADA MARCA TISCH ENVIRONMENTAL SERIE 460 DE 8 PLATOS									
Plato	Número de orificios	Diámetro de los orificios (cm)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Diferencia (g)	Diferencia (mg)	Concentración de masa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fracción de masa (%)	Rango de tamaño (μm)
0	96	0,255	139,98367	139,99433	0,01066	10,66	2113,569672	21,2266029	9,0-10
1	96	0,189	147,13333	147,13933	0,00600	6	1189,626457	11,9474313	5,8-9,0
2	400	0,091	116,79100	116,80033	0,00933	9,33	1849,869141	18,5782557	4,7-5,8
3	400	0,071	117,64633	117,64900	0,00267	2,67	529,3837735	5,31660693	3,3-4,7
4	400	0,053	117,46633	117,47367	0,00734	7,34	1455,309699	14,615691	2,1-3,3
5	400	0,034	117,76133	117,76533	0,00400	4	793,0843049	7,9649542	1,1-2,1
6	400	0,025	115,21733	115,21867	0,00134	1,34	265,6832421	2,66825966	0,7-1,1
7	201	0,025	114,61100	114,61933	0,00833	8,33	1651,598065	16,5870171	0,4-0,7
F			0,39198	0,39253	0,00055	0,55	109,0490919	1,0951812	0-0,4
TOTAL			986,610320	987,052520	0,05022	50,22	9957,173448	100	

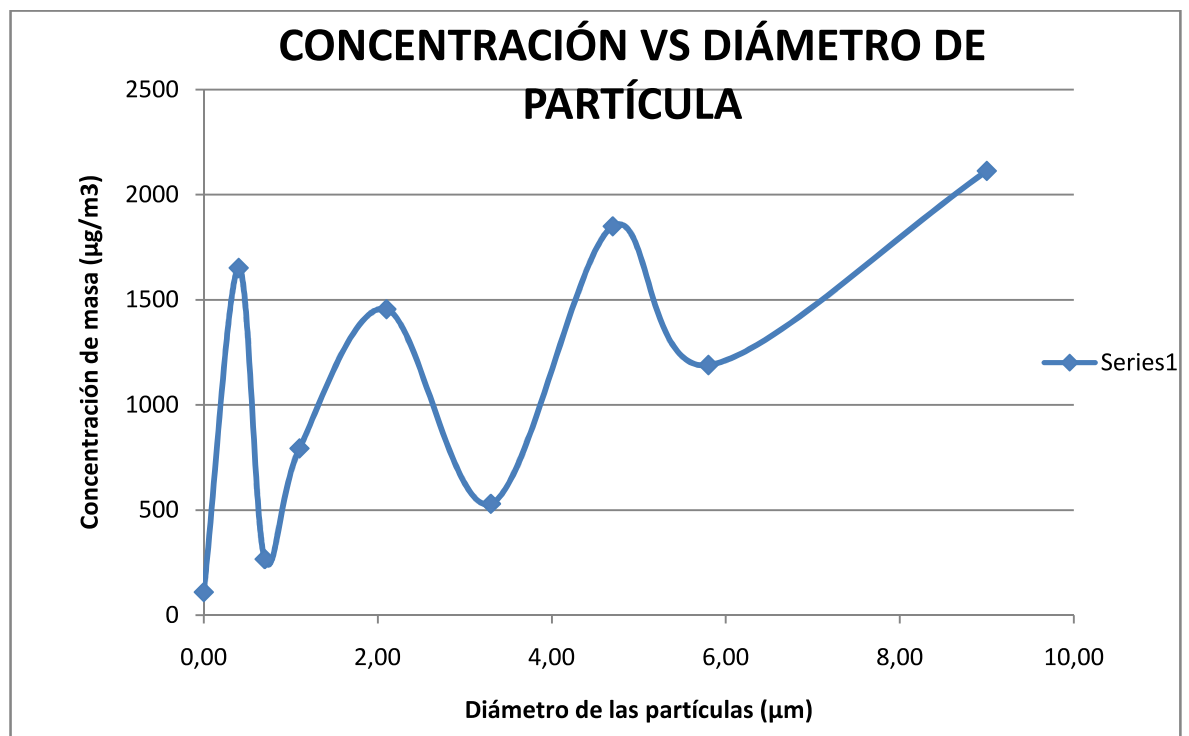
Conociendo la masa inicial y la masa final de las 8 etapas y del filtro del impactador, se puede deducir mediante una diferencia, la masa neta de cada etapa.

La concentración de masa se halla dividiendo la masa neta de cada etapa en microgramos (μg), por el producto del caudal de la bomba de vacío que es

28LPM o lo que es igual $0,000467\text{m}^3/\text{s}$ y el tiempo que duró el análisis que en nuestro caso fue de 3 horas o 10800s.

Y por último, la fracción de masa se calcula dividiendo el peso neto de cada etapa, por la suma de todos los pesos netos, y multiplicando este valor por 100.

Ilustración 39. Histograma de distribución de partículas.



3.4. VALORES LÍMITES PERMISIBLES (TLV)

3.4.1. Generalidades

Los TLV hacen referencia a la concentración máxima permisible de sustancias suspendidas en el aire y a la exposición de los trabajadores a éstas sin causar daños en su salud. Algunos de estos daños en la salud, son aquellos que

disminuyen la esperanza de vida, comprometen las funciones fisiológicas, disminuyen la capacidad para defenderse de otras sustancias tóxicas, afectan adversamente la función reproductora o procesos relacionados con el desarrollo.

3.4.2. Categorías de los TLV

Se consideran 3 categorías de los TLV.

- TLV-TWA (Valor Umbral Límite): Concentración media ponderada en el tiempo, para una jornada laboral de 8 horas diarias de trabajo ó 40 horas semanales, a la que los trabajadores pueden estar expuestos sin sufrir efectos adversos.
- TLV-STEAL (Valor Límite de Exposición Corta Duración): Concentración a la que los trabajadores pueden estar expuestos de manera continua durante un corto período de tiempo, sin sufrir irritación, daños crónicos o irreversibles en los tejidos y narcosis en grado suficiente para aumentar la posibilidad de accidentes.
- TLV-C (Valor Umbral Límite Techo): Es la concentración que no se debe sobrepasar en ningún momento durante la exposición en el trabajo. (GAYSO S.A. 2011, Informe “Valores límites permisibles o TLVs”)

3.4.3. Marco Legal, Valores Límites Permisibles (TLV)

“Para el año de 1979 el Ministerio de Salud Pública definió en la Resolución No. 2400, Título III, Capítulo VIII, Artículo 154, que para Colombia se aplicarían los valores límites permisibles (TLV’S) recomendados por la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists); los contaminantes químicos tienen establecidos valores límite permisibles TLV-TWA para jornada laboral

continua de 40 horas semanales”. (GAYSO S.A. 2011, Informe “Valores límites permisibles o TLVs”)

Luego de conocer que el elemento más contaminante y con mayor presencia en el polvo de caucho, es el Negro de Humo, se miraron los valores permisibles de exposición, considerados según la ACGIH 2011. En la siguiente tabla, se enuncia el valor de TLV-TWA, y el de TLV-TWA corregido para la jornada laboral en Colombia y las notaciones para este agente químico que define la ACGIH.

Tabla 3. TLV del Negro de Humo establecido por la ACGIH.

NOMBRE DEL ELEMENTO	TLV-TWA mg/m3	TLV-TWA CORREGIDO mg/m3	NOTACIONES
Negro de Humo	3.0	2.34	I, A3

Este producto genera bronquitis.

Donde:

I: Fracción inhalable según la ACGIH.

A3: Sustancia confirmada como carcinógena en animales.

4. CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA IDEAL DE EXTRACCIÓN.

Para desarrollar un sistema de ventilación o extracción, principalmente se deben dimensionar los elementos que lo componen y tener en cuenta las características del ventilador a instalar. Para esto se requiere seguir los siguientes pasos.

- I. Considerar el problema, tener una definición clara de lo que se quiere hacer.
- II. Elegir el tipo de ventilación más adecuado para la solución a dicho problema.
- III. Tener en cuenta las características del contaminante: si son gases, vapores, aerosoles, polvos livianos o pesados, entre otros.
- IV. Estimar la posibilidad de corrientes de aire en el sector donde se va a realizar el proyecto.
- V. Observar el espacio que se tiene.
- VI. Determinar las dimensiones para el elemento captor, procurando que se encierre el foco de emisión lo mejor posible.
- VII. Deducir mediante tablas la velocidad de captación del contaminante.
- VIII. Luego de tener la velocidad y la geometría del elemento captor, se debe determinar el caudal de aspiración. Este caudal es el que debe proporcionar el ventilador a instalar.
- IX. Determinar la velocidad mínima del aire con el material particulado por los ductos.
- X. Conociendo el caudal y la velocidad del aire contaminado en los ductos, se determina la dimensión de ellos.
- XI. Seleccionar el tipo de separador de partículas a instalar en el sistema.

- XII. Determinar la suma de las pérdidas de carga que se producen en todos los elementos del sistema. Esta pérdida de carga es la que debe vencer el ventilador a instalar.
- XIII. Calcular la ecuación de funcionamiento y la curva característica del sistema.
- XIV. Seleccionar el ventilador adecuado, cuya curva característica sea congruente con la curva característica del sistema. (@, Ficha técnica “Ventilación por extracción localizada”)

4.1. DESARROLLO DEL CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA IDEAL DE EXTRACCIÓN

- I. Se requiere extraer el polvo emitido por el rectificado de rodillos de caucho en un torno ubicado en la zona de almacenamiento de rodillos de Productos Familia (Ver ilustración 40). El rectificado de estos rodillos no es una tarea que se realice constantemente, sin embargo cuando se ejecuta, genera bastante polución, algo que puede ser perjudicial tanto para la salud de los operarios y mecánicos como para la higiene de la bodega que linda con este recinto, donde se trabaja y empaca el producto terminado.

Ilustración 40. Torno ubicado en la zona de rodillos de la Compañía Productos Familia.



(Elaboración propia, Productos Familia, 2011).

- II. Como se explicó anteriormente, existen 2 tipos de ventilación, la ventilación general y la ventilación localizada. Para este caso se desea captar el contaminante en el lugar de emisión, por lo tanto se utilizará un sistema de ventilación o extracción localizada, con el fin de evitar que el aire contaminado se esparza por todo el recinto y sea respirado por los operarios y mecánicos que se encuentran desarrollando su trabajo en este lugar.
- III. El contaminante a capturar es polvo fino de caucho, producido por el rectificado de los rodillos, para transportar este tipo de material particulado (MP), se necesita una velocidad media de captura.

Luego de realizar el análisis ambiental con el impactador de cascada y hacer el histograma de distribución de las partículas (Ver ilustración 39), se sabe que la mayor concentración de partículas, se encuentra en un rango entre 5 y 10 μm .

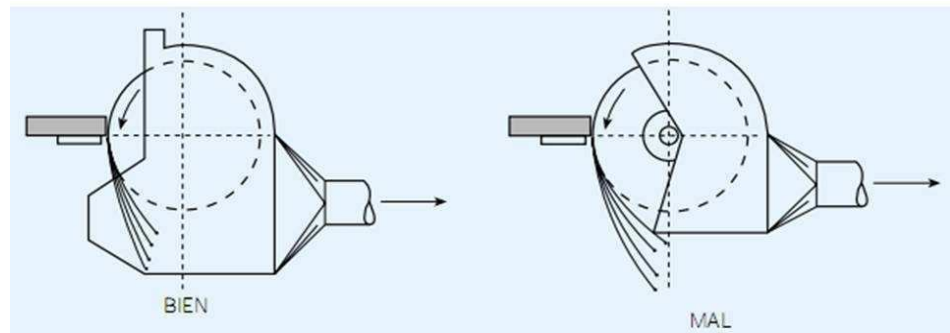
- IV. En la zona de rodillos donde se llevará a cabo el proyecto, no existen corrientes de aire que puedan alterar el flujo de captación del material particulado; por consiguiente es un problema que se puede ignorar.
- V. El espacio es de gran importancia a la hora de diseñar un sistema de extracción, para este proyecto se debe tener muy en cuenta que el sistema de extracción se acoplará a un torno para el rectificado de rodillos de caucho. El cual posee una piedra rectificadora o esmeril, que tiene la libertad de moverse en el eje X (eje paralelo al piso), aproximadamente 7 metros de distancia.

También es de vital importancia, que el diseño propuesto no impida las labores normales del operario, como son: el encendido, el alineamiento de la piedra rectificadora con respecto al rodillo de caucho, el apagado del torno y la constante revisión del proceso de rectificado.

- VI. Para dimensionar el elemento captor, hay que tener en cuenta que éste debe ser diseñado para que encierre el foco de emisión lo que más se pueda, la eficacia de este elemento puede variar mucho dependiendo de la distancia al foco de emisión; por tal razón se debe colocar lo más cerca posible al punto donde se emite la contaminación.

Es de gran importancia también situar este elemento de manera que se utilice la fuerza de inercia de las partículas, para mejorar la eficiencia de captación y reducir el caudal necesario de aspiración. (Ver ilustración 41).

Ilustración 41. Posición del elemento de captación utilizando el movimiento de las partículas.



(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

Debido a que anteriormente existía un sistema de extracción allí acoplado al torno, ya se cuenta con un elemento de captación que puede ser utilizado en el desarrollo de este proyecto.

Es una caperuza de esmeril de 45cm de diámetro y 15 cm de ancho, con una piedra rectificadora o disco rectificador de 30 cm de diámetro y 5 cm de espesor. (Ver ilustración 42)

Ilustración 42. Elemento de captación de la piedra rectificadora.



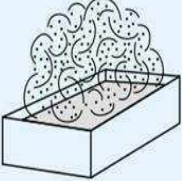
(Elaboración propia, Productos Familia, 2011).

- VII. Mediante tablas se puede deducir la velocidad de captación del material particulado. En nuestro caso para procesos de esmerilado y rectificado, la velocidad está comprendida en un rango de 2,5 a 10 m/s.

Tomando valores inferiores cuando hay poca corriente de aire en el local, cuando se trata de contaminantes de baja toxicidad, cuando hay intermitencia en las operaciones y cuando hay campanas grandes y caudales elevados. O tomando valores superiores cuando hay corrientes turbulentas en el local que afecten la dirección de captación, cuando se trabaja con contaminantes de alta toxicidad, cuando son operaciones continuas y cuando hay campanas pequeñas de extracción. (Ver tabla 3)

A partir de lo anterior se decide tomar una velocidad de captación de 4m/s, ya que el lugar y las condiciones de trabajo donde se llevará a cabo el proyecto, cumplen con las especificaciones para tomar valores inferiores en la tabla 3 “Velocidad de captación de material particulado en metros por segundo”.

Tabla 4. Velocidad de captación de material particulado en metros por segundo.

	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Trituradoras.	1 - 2,5
	Desprendimiento a alta velocidad en zonas de muy rápido movimiento del aire.	Esmerilado. Rectificado.	2,5 - 10
Se adoptarán valores en la zona inferior o superior de cada intervalo según los siguientes criterios:			
Inferior		Superior	
1. Pocas corrientes de aire en el local. 2. Contaminantes de baja toxicidad. 3. Intermitencia de las operaciones. 4. Campanas grandes y caudales elevados.		1. Corrientes turbulentas en el local. 2. Contaminantes de alta toxicidad. 3. Operaciones continuas. 4. Campanas de pequeño tamaño.	

(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

- VIII. El caudal de aspiración para pulidoras o esmeriles, está definida según las dimensiones de los discos. Ya que se tiene una piedra rectificadora o

disco rectificador de 30 cm de diámetro y 5 cm de ancho, el caudal de captación estaría comprendido en un rango de 850 y 1150 m³/h. (Ver tabla 4)

Tabla 5. Caudal de captación para caperuzas de pulidoras.

Diámetro del disco mm	Ancho del disco mm	m ³ /hora necesarios
Hasta 230	50	De 500 a 700
230 a 400	75	De 850 a 1.150
400 a 480	100	De 1.050 a 1.350
480 a 610	125	De 1.250 a 1.900
610 a 760	150	De 1.800 a 2.400
760 a 920	150	De 2.000 a 3.000

(@, Soler & Palau, caso práctico11. Captación de polvo de una pulidora).

Como se tiene un rango amplio para el caudal de captación, comprendido entre 850 y 1150, se realiza una interpolación lineal, para obtener el caudal de captación más aproximado de la siguiente manera:

Se tiene que X1=230mm, Y1=850m³/h y X2=400mm, Y2=1150m³/h (Ver tabla 3)

Entonces:

X1= 230 mm	X=300mm	X2=400mm
Y1=850 m ³ /h	Y	Y2=1150 m ³ /h

$$Y = \frac{(X - X1)}{(X2 - X1)}(Y2 - Y1) + Y1$$

$$Y = \frac{(300 - 230)}{(400 - 230)}(1150 - 850) + 850$$

$$Y = \frac{973m^3}{h} = Q = \frac{0,27m^3}{s}$$

Luego de realizar la interpolación para hallar el caudal del elemento captor, se obtiene un resultado de 973 m³/h ó 0,27m³/s.

- IX. La velocidad mínima de transporte del aire contaminado con polvo fino de caucho por los ductos, está comprendida en un rango de 13 a 18m/s. (Ver tabla 6). Para este caso se escogerá una velocidad mínima de 18 m/s.

Se debe tener muy en cuenta que mientras aumenta la velocidad a un caudal igual, disminuye la sección transversal de los ductos por consiguiente se incrementan notablemente las pérdidas; pero también disminuyen los costos de producción por ser ductos de menor tamaño.

Tabla 6. Velocidad para transporte de material particulado en metros por segundo.

Gases, vapores		5 a 6 ^(*)
Humos	Humos de óxido de zinc y de aluminio.	7 a 10 ^(*)
Polvos muy finos y ligeros	Felpas muy finas de algodón.	10 a 13
Polvos secos y pólvoras	Polvos finos de caucho; de baquelita; felpas de yute; polvos de algodón, de jabón.	13 a 18
Polvos industriales medios	Abrasivo de lijado en seco; polvos de amolar; polvos de yute, de grafito; corte de briquetas, polvos de arcilla, de calcáreo; embalaje o pesada de amianto en las industrias textiles.	18 a 20
Polvos pesados	Polvo de toneles de enarenado y desmoldeo, de chorreado, de escariado.	20 a 23
Polvos pesados o húmedos	Polvos de cemento húmedo, de corte de tubos de amianto-cemento, de cal viva.	>23
(*) Generalmente se adoptan velocidades de 10 m/s		o transporte neumático húmedo

(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

- X. Teniendo la velocidad mínima de transporte y el caudal de captación del sistema, se puede hallar el área transversal del ducto y con esta área se obtiene el diámetro necesario de los ductos para transportar el aire contaminado, de la siguiente manera.

$$Q = V * A$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0,26m^3/s}{18m/s} = 0,014m^2$$

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$\phi = 0,13m = 13cm$$

Donde:

Q: caudal de captación [m³/s].

V: Velocidad de transporte del aire contaminado [m/s].

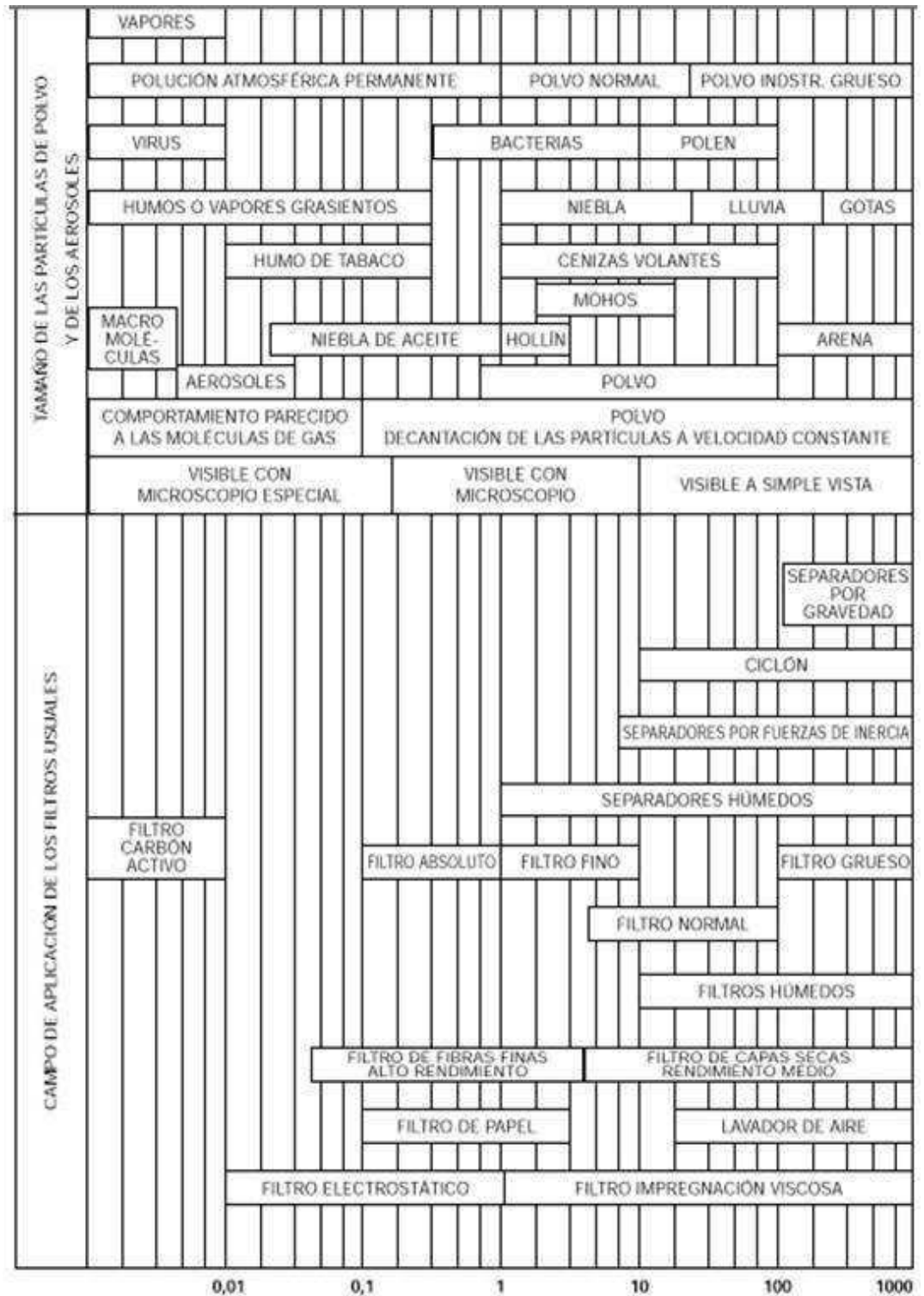
A: Sección transversal del ducto [m²].

Ø: Diámetro necesario para el ducto [m].

- XI. Existen diversos tipos de separadores de partículas como se mostró anteriormente en la sección 2,6; por tal razón se debe escoger el que mejor se adapte al sistema, teniendo muy en cuenta el costo de fabricación, costo de operación, facilidad y costo de mantenimiento, tamaño y tipo de partículas capaz de separar y el tamaño en general del equipo.

Para este caso, el tipo de separador que más se adapta es el filtro de mangas, debido primordialmente al tamaño de las partículas a separar y que si se hace un buen uso de éste y un mantenimiento apropiado, puede llegar a una eficiencia de hasta el 99%. (Ver ilustración 43)

Ilustración 43. Tipos de separadores de partículas y tamaños que pueden separar.



(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

Relación aire-tela: la relación aire tela para plásticos que es lo más similar al caucho en la siguiente tabla, muestra dos valores diferentes dependiendo el tipo de tela, para telas tejidas o telas afelpadas; para nuestro caso se escogió una tela tejida por lo cual la relación aire-tela es de $2,5\text{ft}^3/\text{ft}^2\text{min}$ lo que es igual a $0,833\text{m}^3/\text{m}^2\text{min}$. (Ver tabla 6)

Tabla 7. Relación aire-tela.

Polvo	Agitador/Tela Tejida Aire a la Inversa/Tela Tejida	Chorro a Pulso/Tela de Felpa Aire a la Inversa/Tela de Felpa
Oxido de Aluminio (Alúmina)	2.5	8
Asbesto	3.0	10
Bauxita	2.5	8
Carbón Negro	1.5	5
Carbón	2.5	8
Cacao, Chocolate	2.8	12
Areilla	2.5	9
Cemento	2.0	8
Cosméticos	1.5	10
Residuo de Esmalte	2.5	9
Alimento de Canado, Granos	3.5	14
Feldspar	2.2	9
Fertilizante	3.0	8
Harina	3.0	12
Ceniza Flotante	2.5	5
Grafito	2.0	5
Yeso	2.0	10
Mineral de Hierro	3.0	11
Oxido Férrico	2.5	7
Sulfato Férrico	2.0	6
Oxido de Plomo	2.0	6
Polvo de Piel	3.5	12
Cal	2.5	10
Piedra Caliza	2.7	8
Mica	2.7	9
Pigmentos de Pintura	2.5	7
Papel	3.5	10
Plásticos	2.5	7
Quarzo	2.8	9
Polvo de Piedra	3.0	9
Arena	2.5	10
Aserrín (Madera)	3.5	12
Sílice	2.5	7
Loza	3.5	12
Detergentes, Jabón	2.0	5
Especies	2.7	10
Almidón	3.0	8
Azúcar	2.0	13
Talco	2.5	5
Tabaco	3.5	
Oxido de Zinc	2.0	

(@, Environmental Protection Agency (EPA), Control de materia particulada, Filtros y casas de bolsas, 1998)

Para diseñar un filtro de mangas, se deben considerar principalmente el caudal necesario para el sistema, la relación aire-tela y la dimensión de las mangas:

Caudal: $Q=920\text{m}^3/\text{h}=0,26\text{m}^3/\text{s}$.

Relación aire-tela: $A/C \text{ ratio}=0,833\text{m}^3/\text{m}^2\text{min}$.

Dimensión de las mangas, para este caso se piensa diseñar con unas medidas de: Diámetro ($\Phi=125\text{mm}$) y Largo ($L=2000\text{mm}$).

Teniendo el diámetro y el largo de cada manga, se calcula el área de filtración de cada manga, de la siguiente manera:

$$A_m = 2\pi rL$$

$$A_m = 2\pi(0,0625\text{m})(2)$$

$$A_m = 0,79\text{m}^2$$

Donde:

A_m : área de filtración de cada manga.

r : radio de cada manga en metros.

L : largo de cada manga en metros.

Luego de tener el área de filtración de una manga se procede a hallar el número de mangas que tendrá el equipo y con el cual se puede definir el tamaño total del equipo.

$$\#_{mangas} = \frac{\frac{Q}{A/C \text{ ratio}}}{A_m}$$

$$\#_{mangas} = \frac{\frac{15,6\text{m}^3/\text{min}}{0,833\text{m}^3/\text{m}^2\text{min}}}{0,79\text{m}^2}$$

$$\#_{mangas} = 24$$

Luego de conocer el número y la dimensión de las mangas, se puede estimar el tamaño total del filtro de mangas, que sería de 1 metro de largo por 1 metro de ancho y 3 metros de altura.

- XII. A la presión que se necesita para vencer la fuerza de fricción en los conductos y accesorios del sistema, se le denomina pérdida de carga. Por consiguiente se debe desarrollar un diseño simple, procurando tener el tramo más corto de conductos que se pueda, el menor número de codos y accesorios en el sistema que puedan incrementar el total de pérdidas de presión, pero teniendo muy en cuenta y partiendo de las especificaciones para la captación y transporte del aire contaminado.

Existen pérdidas de carga por diferentes razones, las cuales son: pérdidas por elemento captor, pérdidas por tramos rectos, pérdidas por codos, pérdidas por el elemento separador de partículas, pérdidas por las ampliaciones y reducciones de diámetro y pérdidas por tramos flexibles.

Esta suma de pérdidas es la presión que ha de vencer el ventilador apropiado para la instalación.

- Pérdida de carga por el elemento captor: para determinar la pérdida de carga por el elemento captor, primero se debe hallar el valor de la presión dinámica del sistema (P_d). Y luego mirar las tablas y gráficas en las que se puede obtener el coeficiente de pérdida (n), de cada elemento.

Para encontrar la presión dinámica se tiene que considerar la velocidad del sistema, que en este caso es de 18 m/s y utilizando la siguiente fórmula se tiene:

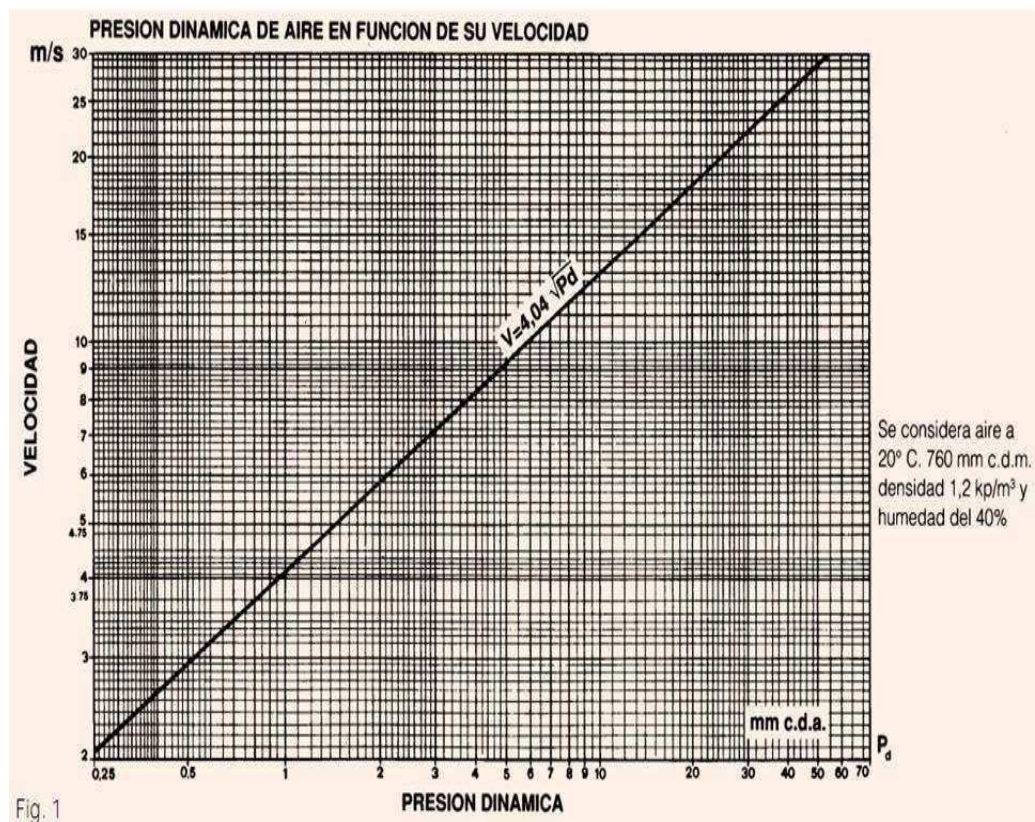
$$V = 4,04\sqrt{P_d}$$

$$Pd = \left(\frac{V}{4,04}\right)^2 = \left(\frac{18m/s}{4,04}\right)^2$$

$$Pd = 19,85mm.c.d.a$$

Luego de resolver la fórmula se obtiene un resultado de 19,85 mm.c.d.a de presión dinámica en el sistema. O bien se puede hallar esta presión dinámica utilizando directamente la siguiente gráfica. (Ver ilustración 44)

Ilustración 44. Gráfica presión dinámica del aire en función de la velocidad del sistema.

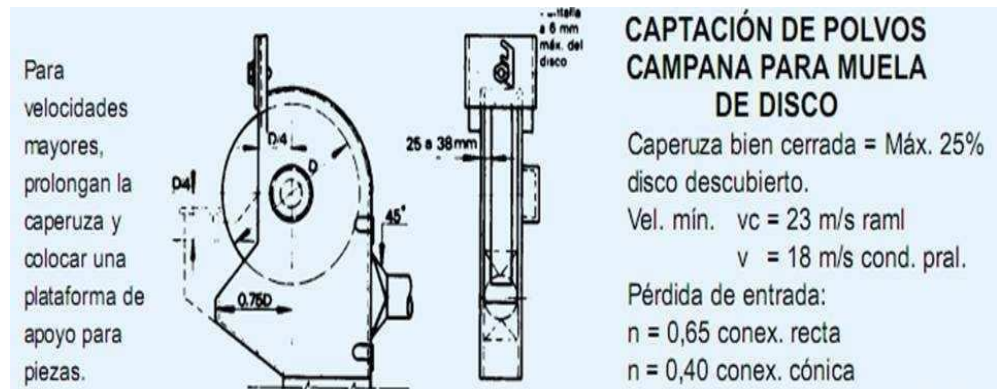


(@, Soler & Palau, Circulación de aire por conductos II).

Se elige luego el coeficiente de pérdida de carga de la caperuza para pulidora, el coeficiente de pérdida (n) para este tipo de campana tiene 2 valores, uno es de 0,65 cuando la conexión de la tubería es recta y de 0,4 cuando la conexión de la tubería es cónica. (Ver ilustración 45)

Para este caso como la conexión de la tubería a la caperuza de la piedra rectificadora, no es cónica; se elige un coeficiente de pérdida (n) igual a 0,65.

Ilustración 45. Coeficiente de pérdida para caperuzas de pulidoras.



(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

Con este coeficiente se puede determinar la pérdida por elemento de captación, de la siguiente manera:

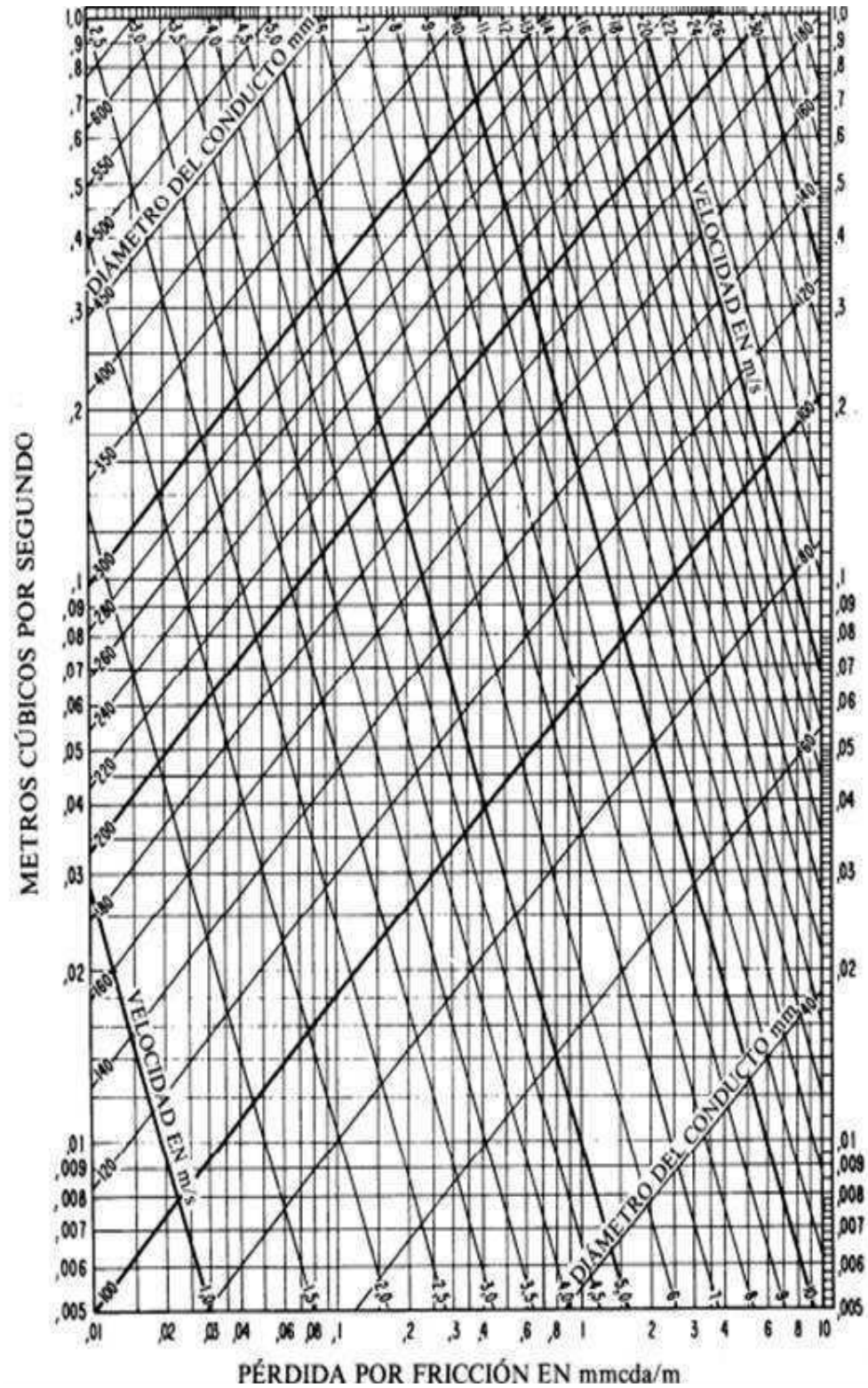
$$h_{campana} = n * Pd$$

$$h_{campana} = 0,65 * 19,85 = 12,9 \text{ mm. c. d. a}$$

- Pérdida de carga por tramo recto: para determinar las pérdidas de presión por tramo recto, se debe mirar la siguiente gráfica de pérdidas por fricción. Al usar esta tabla hallamos el total de la pérdida de presión por metro de tubería. (Ver ilustración 46)

Para usar la tabla se necesita el valor del Caudal, ($Q=0,26 \text{ m}^3/\text{s}$), se sigue esta línea hasta interceptar el valor del Diámetro de la tubería ($\Phi=130 \text{ mm}$) o el valor de la Velocidad ($V=18 \text{ m/s}$); cuando se intercepten estos valores, se sigue la línea vertical que sería el total de la pérdida por fricción en mm.c.d.a por metro de tubería.

Ilustración 46. Gráfica pérdida por fricción en tramo recto.



(@, Apuntes posgrados, capítulo cálculo de conductos).

La pérdida de carga por tramo recto según la gráfica sería entonces de 3,1mm.c.d.a/m.

$$h_{tramo\ recto} = 3,1mm.c.d.a/m$$

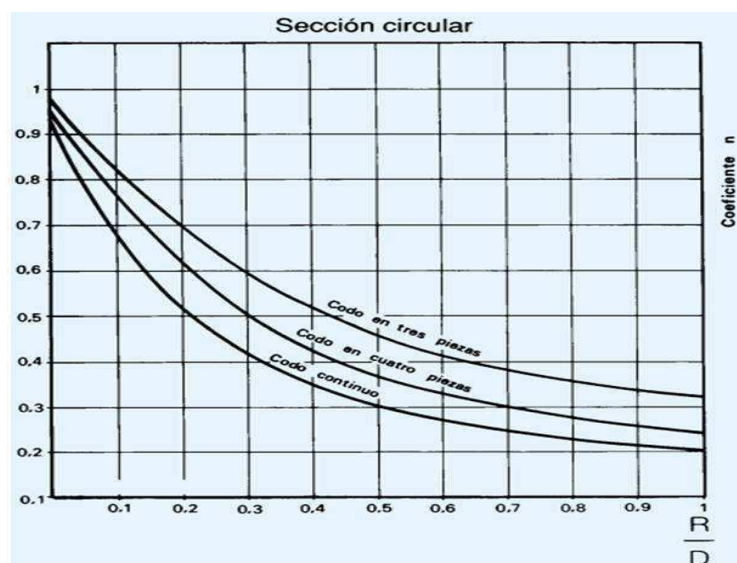
Se estima que son 7 metros de longitud de tramo recto, entonces usando la siguiente fórmula se tiene un total de pérdida por fricción de:

$$h_{tramo\ recto} = 3,1mm.c.d.a/m * 7m = 21,7mm.c.d.a$$

- Pérdida de carga por codos de 90°: para un buen funcionamiento del sistema y evitar altas caídas de presión, se debe tener en cuenta que el radio mínimo para un codo de 90°, es 2 veces el radio de la tubería o bien el diámetro de ella.

En este caso se escoge para el valor del radio del codo de 90°, el diámetro de la tubería de 130mm, que vendría siendo el radio mínimo permitido. El coeficiente de pérdida (n) para este tipo de relación (R/D) es: 0,2. (Ver ilustración 47)

Ilustración 47. Gráfica coeficiente de pérdida por codos de 90°.



(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

La pérdida de presión entonces para un codo de 90° es de:

$$h_{\text{codos de } 90^\circ} = 0,2 * 19,85 = 3,97 \text{ mm. c. d. a}$$

Según el diseño del sistema de extracción se tienen 4 codos, por lo cual el total de pérdida de carga por los codos de 90° es de:

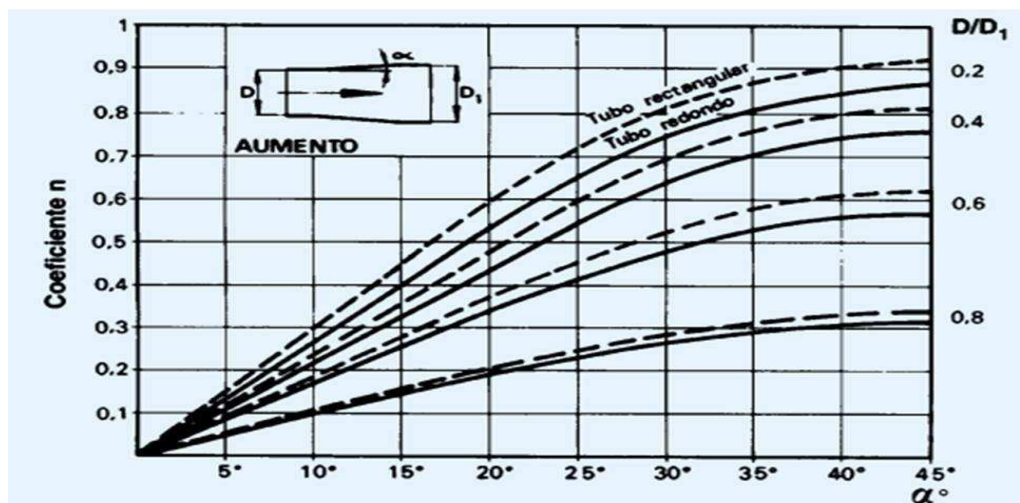
$$h_{\text{codos de } 90^\circ} = 3,97 \text{ mm. c. d. a} * 4 = 15,88 \text{ mm. c. d. a}$$

- Pérdidas por aumento de sección: ya que se debe aumentar el diámetro de la tubería, de 7,3 cm a la salida de la caperuza de la piedra rectificadora, a 13 cm el diámetro de toda la tubería del sistema, se debe hallar la relación entre estos diámetros de la siguiente manera:

$$\frac{D}{D_1} = \frac{7,3}{13} = 0,56$$

Utilizando esta relación y se usa un ángulo para la ampliación de 45°, se obtiene con la gráfica un coeficiente de pérdida (n) de 0,65. (Ver ilustración 48)

Ilustración 48. Gráfica coeficiente de pérdida por ampliación.



(@, Soler & Palau, Sistemas de ventilación, 2006).

Teniendo el coeficiente de pérdida (n), se puede hallar la pérdida de carga para esta ampliación así:

$$h_{\text{ampliación } 1} = 0,65 * 19,85 = 12,9\text{mm. c. d. a}$$

Según el diseño también se tiene otra ampliación de la tubería en la parte de succión del ventilador, con una relación de:

$$\frac{D}{D1} = \frac{13}{20} = 0,65$$

Utilizando esta relación y usando un ángulo para la ampliación de 45°, tenemos un coeficiente de pérdida (n) de 0,45. (Ver ilustración 48)

Teniendo este coeficiente (n), se halla de igual forma la pérdida de carga para esta ampliación.

$$h_{\text{ampliación } 2} = 0,45 * 19,85 = 8,9\text{mm. c. d. a}$$

- Pérdida de carga por separador de partículas: la pérdida de carga estimada para el diseño de un filtro de mangas es de 3 pulgadas de columna de agua, es un valor que se usa porque en las mangas del filtro se va conformando una torta mediante pasa el tiempo de filtración, que ayuda a retener partículas de menor tamaño, aumentando la eficiencia, pero también aumentando la pérdida de carga pues reduce el flujo de aire.

$$h_{\text{separador de particulas}} = 3\text{in. c. d. a} = 76,2\text{mm. c. d. a}$$

- Pérdidas por tramo flexible: la pérdida de carga por tramo flexible en pulgadas de columna de agua por pie de longitud está dada con la siguiente fórmula.

$$h_{tramo\ flexible} = 0,0311 * \left(\frac{V^{0,604}}{Q^{0,639}} \right)$$

Donde:

V: Velocidad en pies por minuto [ft/min].

Q: Caudal de captación en pies cúbicos por minuto [ft³/min].

h: Pérdida de carga por tramo flexible en pulgadas de columna de agua por pie [in.c.d.a/ft].

$$h_{tramo\ flexible} = 0,0311 * \left(\frac{3543,3^{0,604}}{550,9^{0,639}} \right) = 0,077 \text{ in. c. d. a/ft}$$

Ya que se estiman 5 metros aproximadamente de tramo flexible, que en pies serían 16,4 ft, se tiene una pérdida de carga total por tramo flexible de:

$$h_{tramo\ flexible} = 0,077 \text{ in. c. d. a/ft} * 16,4 \text{ ft}$$

$$h_{tramo\ flexible} = 1,26 \text{ in. c. d. a} = 32 \text{ mm. c. d. a}$$

Sumando todas las pérdidas de carga, se tiene el total de pérdidas del sistema. (Ver tabla 8)

Tabla 8. Total pérdida de carga del sistema ideal.

TIPO DE PÉRDIDA	VALOR EN mm.c.d.a
Por elemento captor	12,9
Por tramo recto (7m)	21,7
Por codos de 90° (4)	15,88
Por aumento de sección 1 (73 a 130mm)	12,9
Por aumento de sección 2 (130 a 200mm)	8,9
Por separador de partículas	76,2
Por tramo flexible	32
TOTAL PERDIDAS DEL SISTEMA	180,48

En la tabla 8 se encuentra el total de pérdidas de presión en el sistema, que tiene un valor de 108,48 mm.c.d.a, este valor está determinado a una presión y temperatura estándar, por tal razón se debe corregir con el factor de corrección (n') para la ciudad de Medellín, el cual se halla de la siguiente manera:

$$n' = \frac{293K * P_{\text{real}} \text{mm. Hg}}{T_{\text{real}}K * 760 \text{mm. Hg}}$$

Donde:

n' : Factor de corrección.

P_{real} : Presión atmosférica en la ciudad de Medellín en mm.Hg.

T_{real} : Temperatura promedio en la ciudad de Medellín en °K.

$$n' = \frac{293K * 640 \text{mm. Hg}}{297K * 760 \text{mm. Hg}} = 0,83$$

El coeficiente de corrección para Medellín es entonces 0,83; por esta razón se debe dividir el total de pérdidas de presión en el sistema por el

factor de corrección, para obtener el verdadero valor de pérdidas de presión en la ciudad de Medellín y escoger el ventilador más adecuado.

$$H_{CORREGIDO} = \frac{180,48 \text{ mm. c. d. a}}{0,83} = 217,45 \text{ mm. c. d. a}$$

- XIII. La ecuación del sistema, es una ecuación que relaciona la pérdida de carga con el caudal que va a circular.

La ecuación del sistema se expresa:

$$H = K * Q^2$$

Donde:

K: Constante del sistema.

H: Total pérdidas.

Q: Caudal.

Entonces hallamos la constante K del sistema según la fórmula:

$$K = \frac{H}{Q^2} = \frac{217,45 \text{ mm. c. d. a}}{\left(\frac{0,26 \text{ m}^3}{\text{s}}\right)^2}$$

$$K = 3216,7 \text{ mm. c. d. a} / (\text{m}^3/\text{s})^2$$

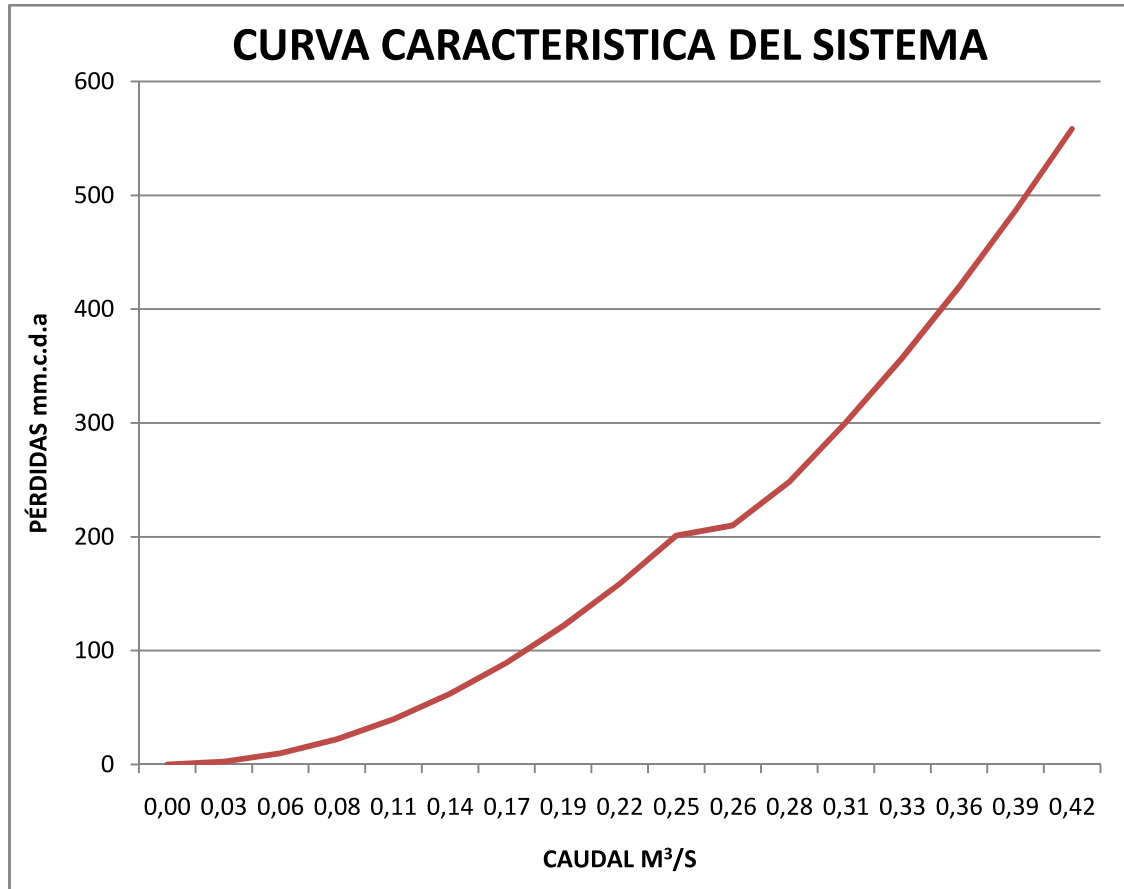
Si se halla el valor de las pérdidas para diferentes caudales utilizando la constante K se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 9. Pérdidas de carga para diferentes caudales.

CAUDALES (m3/s)	PERDIDAS (mm.c.d.a)
0,00	0
0,03	2
0,06	10
0,08	22
0,11	40
0,14	62
0,17	89
0,19	122
0,22	159
0,25	201
0,26	210
0,28	248
0,31	300
0,33	357
0,36	419
0,39	486
0,42	558
0,44	635
0,47	717
0,50	804
0,53	896
0,56	993

Si se lleva esta tabla a una gráfica en Excel, dará como resultado la curva característica del sistema. (Ver ilustración 49)

Ilustración 49. Gráfica de la curva característica del sistema.



XIV. Luego de conocer las especificaciones del ventilador ideal para el sistema de extracción, las cuales son:

Caudal= $0,26 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pérdida de presión= $217,45 \text{ mm.c.d.a.}$

Se habló con la empresa Ingeaire, quienes recomendaron el siguiente ventilador:

Turbina tipo R modelo R12Y, con un motor Siemens de 2Hp a 3600rpm 220-440 v/60Hz.

5. CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL DE EXTRACCIÓN.

Ya que los intereses del cliente, “Compañía de Productos Familia”, era el de realizar un proyecto cuyos objetivos son: primero, reducir al máximo la contaminación ambiental generada durante el proceso del rectificado de rodillos de caucho; segundo, mejorar el ambiente de trabajo; y tercero, hacer uso adecuado de ciertos recursos que estaban sub-utilizados en la empresa.

Se utilizaron recursos de la empresa como, un ventilador centrífugo de álabes curvados hacia adelante, con un motor siemens de 4 Hp a 3500 rpm, que se encontraba en stock; y la tubería y el equipo separador de partículas serán realizados por los contratistas de la Compañía según planos (Ver anexos, planos sistema de extracción).

Debido a que no se tenía ningún dato del fabricante del ventilador, se debió hacer ciertas mediciones para calcular su caudal. Por lo tanto para esto se usó un Tubo de Pitot, suministrado por el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad EAFIT, con el fin de medir la presión dinámica en la tubería.

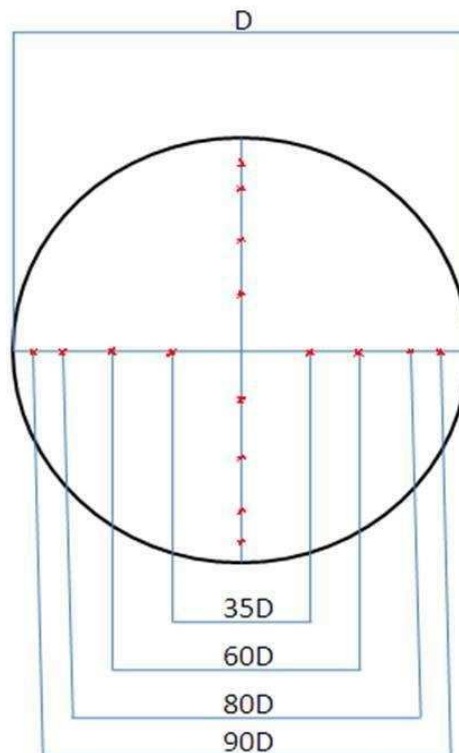
Para las mediciones se realizó un montaje con una tubería PVC de 6 pulgadas de diámetro y una longitud de 2,7 metros, para garantizar que el fluido, en este caso aire, fuera lo más laminar posible (Ver ilustración 50). Las mediciones de la presión dinámica, se tomaron a ciertas distancias, para hallar la velocidad en cada punto de la sección transversal y luego promediarlas. (Ver ilustración 51)

Ilustración 50. Montaje para medición de caudal.



(Elaboración propia, Productos Familia, 2011).

Ilustración 51. Gráfica puntos de medición con Tubo de Pitot en tuberías circulares.



(Elaboración propia, 2011).

Tabla 10. Mediciones de la presión dinámica y la velocidad con el Tubo Pitot.

MEDICIÓN CON TUBO DE PITOT				
VERTICAL (cm)	P. DINÁMICA (in.c.a)	VELOCIDAD (ft/min)	P. DINÁMICA (mm.c.a)	VELOCIDAD (m/s)
0,608	1,6	5100	40,6	25,7421242
1,52	2	5700	50,8	28,794744
3,04	2,3	6100	58,4	30,8736367
4,94	3	6900	76,2	35,266215
10,26	2,8	6700	71,1	34,0656096
12,16	2,4	6200	61	31,5534087
13,68	2,1	5800	53,3	29,494767
14,592	1,6	5100	40,6	25,7421242
HORIZONTAL (cm)				
0,608	2	5700	50,8	28,794744
1,52	2	5700	50,8	28,794744
3,04	2,6	6500	66	32,8211152
4,94	2,8	6700	71,1	34,0656096
10,26	2,8	6700	71,1	34,0656096
12,16	2,2	5900	55,9	30,2055862
13,68	1,5	4900	38,1	24,9369798
14,592	1,3	4600	33	23,2080331
PROMEDIO	2,1875	5893,75	55,55	29,9015657

Luego de tomar las medidas de la presión dinámica y de hallar la velocidad en cada punto y su promedio (Ver tabla 9), se halla el caudal del ventilador, teniendo presente que el diámetro de la tubería es de 6 pulgadas o lo que es igual a 0,152 metros y la velocidad promedio de 29,9 m/s; de la siguiente forma:

$$V_{promedio} = 29,9m/s$$

$$A = \pi * 0,076^2 = 0,0177m^2$$

$$Q = V * A$$

$$Q = \frac{29,9m}{s} * 0,0177m^2$$

$$Q = 0,528m^3/s$$

Como se vio anteriormente en el capítulo 4, cálculo y diseño del sistema ideal de extracción, ya se contaba con una caperuza de esmeril para usar como elemento de captación. (Ver ilustración 42)

Conociendo que la velocidad de transporte para material particulado, como el polvo fino de caucho, de baquelita, felpas de yute, polvos de algodón y de jabón es de 18 m/s aproximadamente, y luego de haber hallado el caudal del ventilador; el diámetro apropiado para la tubería del sistema de extracción sería entonces de:

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0,528m^3}{18 m/s}$$

$$A = 0,029m^2$$

$$A = \pi * r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,029m^2}{\pi}}$$

$$r = 0,096m = 9,6cm$$

$$\Phi = 19,2cm \cong 7,5in$$

Debido a que en la zona de rodillos donde se va a instalar el sistema, no se cuenta con mucho espacio y a que el proyecto se quiere realizar con el menor presupuesto posible, se eligió una tubería de 5 pulgadas de diámetro para el sistema de extracción.

Teniendo en cuenta las condiciones y objetivos principales del proyecto, las características del material particulado y conociendo las propiedades de los equipos separadores de partículas, se decide realizar una matriz de selección, para elegir el equipo que más se adapte a los requerimientos del proyecto.

Tabla 11. Matriz de selección del tipo de separador de partículas.

TIPOS DE SEPARADORES	Facilidad de fabricación	Eficiencia en la separación de partículas menores a 10μ	Pérdida de carga	Costo de fabricación
Cámara de sedimentación	ALTA	BAJA	BAJA	BAJA
Cámara de choque	ALTA	MEDIO BAJA	MEDIA	BAJA
Ciclón	MEDIA	ALTA	ALTA	MEDIA
Multi-ciclón	BAJA	ALTA	ALTA	ALTA
Filtro de mangas	BAJA	ALTA	ALTA	ALTA

Luego de realizar esta matriz de selección, se eligió el separador de partículas por cámaras de choque, principalmente por la facilidad y costo de fabricación.

Ya que este tipo de separador de partículas tienen relativamente baja eficiencia en la separación de partículas con diámetro aerodinámico menor a $10\mu\text{m}$, y que el análisis ambiental que se realizó, nos muestra que la mayor concentración de partículas se encuentra entre 4 y $10\mu\text{m}$, se decidió realizar en este proyecto un diseño, con un separador de partículas por cámaras de choque, el cual hace que el fluido cargado de material particulado tenga que cambiar drásticamente

de dirección y que las partículas choquen con las paletas dispuestas en la cámara, agregándole una fuerza inercial para que se depositen en el inferior de la cámara más fácilmente; combinado con una talega, la cual ayudaría como filtro en el momento de separación de partículas. (Ver ilustración 52)

Luego de hablar con los ingenieros de Recudir S.A, sobre el uso del filtro, estos recomendaron una tela no tejida tipo Moqueta, la cual es unida por medios mecánicos y químicos, como la tela ideal por su resistencia, maniobrabilidad y porque ésta, tiene una porosidad menor a la tela tejida, además posee buena permeabilidad al aire.

Ilustración 52. Equipo separador de partículas.



(Elaboración propia, Productos Familia, 2011).

Como se vio en la gráfica anterior, se elaboró una talega filtrante con tela no tejida de 40cm de diámetro y 60cm de altura, además para adaptarla fácilmente a la cámara de choque, se le hizo un cuello con la misma tela no tejida de 16cm de diámetro.

Luego de escoger el diámetro de la tubería, que sería de 5 pulgadas o 0,127m y el material, lámina galvanizada rolada, para evitar la corrosión del aire, se procede a calcular la velocidad media de arrastre de las partículas al interior de la tubería.

$$A = \pi * \left(\frac{0,127}{2}\right)^2$$

$$A = 0,013m^2$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,528m/s}{0,013m^2}$$

$$V = 40,6m/s$$

Teniendo la velocidad, hallamos la presión dinámica del sistema con la siguiente fórmula:

$$V = 4,04\sqrt{Pd}$$

$$Pd = \left(\frac{V}{4,04}\right)^2 = \left(\frac{40,6m/s}{4,04}\right)^2$$

$$Pd = 100,99mm.c.d.a$$

Con la presión dinámica calculada, hallamos todas las pérdidas de carga del sistema. En este caso, el diseño del sistema experimental en cuanto a sus tuberías es similar al diseño del sistema ideal; por lo tanto se calcularán las pérdidas para este sistema, para calcularlas nos vamos a remitir a las gráficas del capítulo 4:

- Pérdida de carga por el elemento captor: el coeficiente n es igual a 0,65. (Ver ilustración 45)

$$h_{campana} = n * Pd$$

$$h_{campana} = 0,65 * 100,99\text{mm. c. d. a} = 65,6\text{mm. c. d. a}$$

- Pérdida de carga por tramo recto: teniendo el caudal, el diámetro de la tubería y la velocidad, encontramos el valor de la pérdida de carga por metro de tubería (Ver ilustración 46). Como se sabe que son 7 metros de tubería entonces se tiene que:

$$h_{tramo\ recto} = 7\text{mm. c. d. a/m}$$

$$h_{tramo\ recto} = 7\text{mm. c. d. a/m} * 7\text{m} = 49\text{mm. c. d. a}$$

- Pérdida de carga por codos de 90°: el coeficiente de pérdida (n) para un codo que tiene como radio el mismo valor del diámetro es: 0,2 (Ver ilustración 47). Y debido a que en el diseño se tienen 4 codos, la pérdida total de carga por codos sería:

$$h_{codos\ de\ 90^\circ} = 0,2 * 100,99\text{mm. c. d. a} = 20,2\text{mm. c. d. a}$$

$$h_{codos\ de\ 90^\circ} = 20,2\text{mm. c. d. a} * 4 = 80,8\text{mm. c. d. a}$$

- Pérdidas por aumento de sección: como se tienen las mismas 2 ampliaciones que el diseño del sistema ideal, aumento de 7,3cm a 13cm:

$$\frac{D}{D1} = \frac{7,3}{13} = 0,56$$

Con esta relación de D/D1, obtenemos que el coeficiente n para la primera transición, es de 0,65 a un ángulo de 45°. (Ver ilustración 48)

$$h_{ampliación\ 1} = 0,65 * 100,99\text{mm. c. d. a} = 65,6\text{mm. c. d. a}$$

Y con el segundo aumento de sección que es de 13cm a 20cm tenemos:

$$\frac{D}{D1} = \frac{13}{20} = 0,65$$

Con esta relación de D/D1, obtenemos que el coeficiente n para la segunda transición, es de 0,45 a un ángulo de 45°. (Ver ilustración 48)

$$h_{ampliación\ 2} = 0,45 * 100,99\text{mm. c. d. a} = 45,45\text{mm. c. d. a}$$

- Pérdida de carga por separador de partículas: la pérdida de carga de un separador de partículas por choque es de aproximadamente 2 pulgadas de columna de agua.

$$h_{separador\ de\ partículas} = 2\text{in. c. d. a} = 50,8\text{mm. c. d. a}$$

- Pérdidas por tramo flexible: según el diseño se presentan 5 metros o 16,4 pies de tramo flexible; para hallar la pérdida de carga de este tramo, se usa la fórmula siguiente:

$$h_{tramo\ flexible} = 0,0311 * \left(\frac{V^{0,604}}{Q^{0,639}} \right)$$

Donde:

V: Velocidad en pies por minuto [ft/min].

Q: Caudal de captación en pies cúbicos por minuto [ft³/min].

h: Pérdida de carga por tramo flexible en pulgadas de columna de agua por pie [in.c.d.a/ft].

Entonces la velocidad 40,6m/s queda en 7992ft/min y el caudal de 0,528m/s queda en 1118,77ft³/min.

$$h_{tramo\ flexible} = 0,0311 * \left(\frac{7992^{0,604}}{1118,77^{0,639}} \right) = 0,079 \text{ in. c. d. a/ft}$$

$$h_{tramo\ flexible} = 0,079 \text{ in. c. d. a/ft} * 16,4 \text{ ft}$$

$$h_{tramo\ flexible} = 1,29 \text{ in. c. d. a} = 32,77 \text{ mm. c. d. a}$$

Sumando todas las pérdidas de carga, se tiene el total de pérdidas del sistema experimental. (Ver tabla 11)

Tabla 12. Total pérdida de carga del sistema experimental.

TIPO DE PÉRDIDA	VALOR EN mm.c.d.a
Por elemento captor	65,6
Por tramo recto (7m)	49
Por codos de 90° (4)	80,8
Por aumento de sección 1 (73 a 130mm)	65,6
Por aumento de sección 2 (130 a 200mm)	45,45
Por separador de partículas	50,8
Por tramo flexible	32,77
TOTAL PERDIDAS DEL SISTEMA	390

El total de pérdidas de carga es de 390 mm.c.d.a, para una temperatura y presión estándar de 20°C y 1 atmósfera respectivamente. Para hallar la pérdida de carga a una temperatura de 24°C que es igual a 297°K y una presión de 640 mm.Hg, condiciones de la ciudad de Medellín, se debe calcular el factor de corrección (n'), el cual se halla de la siguiente manera:

$$n' = \frac{293K * P_{\text{real}} \text{mm. Hg}}{T_{\text{real}}K * 760 \text{mm. Hg}}$$

Donde:

n' : Factor de corrección.

P_{real} : Presión atmosférica en la ciudad de Medellín en mm.Hg.

T_{real} : Temperatura promedio en la ciudad de Medellín en °K.

$$n' = \frac{293K * 640 \text{mm. Hg}}{297K * 760 \text{mm. Hg}} = 0,83$$

El coeficiente de corrección para Medellín es 0,83; entonces la pérdida de carga del sistema en la ciudad de Medellín es:

$$H_{\text{CORREGIDO}} = \frac{390 \text{mm. c. d. a}}{0,83} = 469,9 \text{mm. c. d. a}$$

Luego de montado el sistema, se realizaron las respectivas pruebas para determinar la eficiencia aproximada de captación. Para esto se hizo un procedimiento de la siguiente manera, se hizo pasar por el sistema un volumen de 18 onzas de polvo de caucho, medidas con un vaso de 6 onzas, luego se midió la cantidad de polvo captada en la talega y en la cámara de choque. Este procedimiento se realizó 3 veces con el fin de sacar la eficiencia promedio. Los resultados se mostrarán en la siguiente tabla:

Tabla 13. Eficiencia del sistema.

# PROCEDIMIENTO	VOLUMEN INICIAL (onz)	VOLUMEN CAPTADO EN LA TALEGA (onz)	VOLUMEN CAPTADO EN LA CÁMARA DE CHOQUE (onz)	EFICIENCIA (%)
1	18	8	5	72,22
2	18	9	6	83,33
3	18	10	5	83,33
PROMEDIO				79,63

6. COMPARACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA IDEAL VERSUS EL DISEÑO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL.

Luego de realizar los cálculos del diseño del sistema ideal y del sistema del diseño experimental, se debe hacer un balance con el fin de conocer las ventajas y desventajas que se tienen al no fabricar el diseño ideal para la recolección del polvo de caucho producido por el rectificado de rodillos.

Tabla 14. Tabla comparativa de los sistemas de extracción ideal y experimental.

COMPARACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA IDEAL VERSUS EL DISEÑO DEL SISTEMA EXPERIMENTAL		
ITEMS A EVALUAR	SISTEMA IDEAL DE VENTILACIÓN	SISTEMA EXPERIMENTAL DE VENTILACIÓN
COSTO FABRICACIÓN Y MONTAJE	El diseño ideal realizado, tendría un grado de complejidad mayor que el experimental, debido principalmente al uso de un filtro de mangas como elemento separador de partículas. Además se realizaron los cálculos respectivos, para dimensionar las tuberías y elegir el	El diseño experimental usó insumos subutilizados de la empresa, como el ventilador de álabes curvados hacia adelante, con su motor Siemens de 4 Hp a 3500 rpm. Se mandaron a fabricar los 7 metros de tubería con sus respectivos accesorios y un separador de partículas tipo

	ventilador más apropiado para el sistema. Por lo tanto se pidió una cotización a la empresa Evaluación y Control Ambiental Ltda, quienes ofrecieron un precio de fabricación de los elementos anteriormente mencionados, de \$7.383.350 sin iva y éste no incluye el transporte ni la instalación. (Ver anexos, cotización sistema de extracción)	cámaras de choque, trabajo realizado por los contratistas de la empresa. El costo aproximado de todos los elementos del proyecto fue de \$1.800.000 con instalación incluida.
ESPACIO REQUERIDO	El espacio ocupado por el equipo separador de partículas del sistema, sería de 1 metro cuadrado por 3 metros de altura. Considerando el espacio que se tiene en esta bodega, es poco factible la instalación de este sistema, pues allí se almacenan los rodillos de caucho y se les realiza el proceso de rectificado.	Este sistema compuesto por un separador de partículas tipo cámara de choque y una talega de tela no tejida, ocupa aproximadamente un área de 0,2 metros cuadrados y 1,6 metros de altura. Debido al caudal del ventilador, el diámetro ideal de la tubería sería de 7,5 pulgadas, pero debido al espacio tan reducido y al alto costo de fabricación, se utilizó un diámetro de 5 pulgadas.
MANTENIBILIDAD	El mayor gasto del sistema lo representa el mantenimiento de los filtros, los cuales se deben revisar frecuentemente para detectar a tiempo las fallas y evitar el paso del polvo hacia el lado que debe permanecer limpio. La limpieza se debe realizar a cada uno de las 24 mangas por medio de agitación manual o flujo invertido. Además se debe mirar el equipo internamente para detectar anomalías.	El mantenimiento de este sistema es más sencillo, el cual consiste en limpiar la talega cada que se cumplan dos procesos de rectificado, para garantizar que la talega cumpla su objetivo. La limpieza se lleva a cabo por medio de flujo invertido utilizando aire comprimido. También se debe revisar trimestralmente el estado de las placas del equipo separador de partículas, con el fin de prevenir un excesivo desgaste.

EFICIENCIA	Este sistema con un adecuado manejo y un mantenimiento periódico, puede alcanzar una eficiencia de hasta el 99%. Hay que tener en cuenta, que la eficiencia de estos equipos comienza con un porcentaje menor al 95%, pero mejora con el tiempo, debido a que se hace una torta alrededor de las talegas filtrantes, lo cual aumenta la eficiencia de separación. Además es conveniente el estar revisando que el flujo de aire sea el debido, pues cuando esto no se cumple, la eficiencia se reduce drásticamente.	Luego de realizadas las pruebas para calcular la eficiencia del sistema experimental, nos dio como resultado, una eficiencia de aproximadamente el 80 %. La cual mediante un adecuado y periódico mantenimiento de la talega y la cámara de choque, mantendrá la condición inicial.
--------------------------	--	--

7. CONCLUSIONES

Aunque el sistema ideal cotizado por la empresa Evaluación & Control Ambiental Ltda. es mucho más eficiente, que el sistema experimental instalado, se cumplió con el deseo de Productos Familia, de aprovechar los insumos y la mano de obra que se tenía, lográndose hacer un ahorro de la inversión en un 75%. Y así alcanzar el objetivo de descontaminación de ésta zona de la empresa y además contribuyendo con la mejora del medio ambiente.

Si tenemos en cuenta que la rectificación de rodillos, no es una labor cotidiana, el sistema experimental se acomoda mejor a las expectativas de la empresa, ya que su costo es muy inferior al sistema ideal, brindándonos una eficiencia aproximada del 80%, llenando las expectativas de la empresa, en cuanto al costo de fabricación y al mejoramiento del ambiente de trabajo. Con esto atendemos las recomendaciones del ministerio de salud con los decretos: 02 de 1982, Ministerio de salud, emisiones atmosféricas y el 948 de 1995, Ministerio del medio ambiente, prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

No es fácil el diseño de un sistema de extracción, debido a la cantidad de variables que se deben tener en cuenta, pero luego de una exhaustiva investigación, se puede realizar de una manera más sencilla siguiendo los pasos propuestos en el Capítulo 4.

Antes de diseñar un sistema de extracción, se debe efectuar un análisis granulométrico del material a capturar, para esto es necesario conocer los diferentes métodos que existen para realizar este análisis, con el fin de elegir el

indicado según las características del material particulado. Luego de obtener el análisis granulométrico, donde se halla la distribución y concentración del tamaño de partículas, se procede a elegir el mecanismo de colección más apropiado para el sistema de extracción.

Se decidió fabricar un equipo separador de partículas combinado, con un separador por cámaras de choque y una talega que actuara como filtro, debido a la facilidad y al bajo costo de fabricación; además éste se fabricó de una manera modular para facilitar su mantenimiento.

Luego de conocer el TLV o valor límite permisible de exposición y los efectos que causa sobre la salud el negro de humo, elemento principal del polvo de caucho, se puede afirmar que con este proyecto se disminuirá en gran parte la posibilidad de causar bronquitis y hasta un posible cáncer, en los operarios y mecánicos que están en contacto con este polvo.

8. RECOMENDACIONES

Realizar anualmente un análisis del medio ambiente en esta zona, para determinar la cantidad de partículas presentes y así conocer la eficiencia de los equipos.

A pesar de que la contaminación en esta área se va a reducir drásticamente, es aconsejable que el personal que labora en esta sección use elementos de protección adecuados como gafas y tapabocas.

Inspeccionar periódicamente el estado de la talega, con el fin de prevenir el excesivo desgaste. Cuando sea necesario el cambio de talega, se recomienda adquirir la tela tipo Moqueta con la empresa Recudir S.A.

Realizar un mantenimiento adecuado y periódico para que el sistema trabaje lo más eficientemente posible.

No utilice el sistema de extracción para recoger otro tipo de material que no sea polvo de caucho.

9. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 15. Cronograma de actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES										
ACTIVIDADES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
Investigación tipos y funciones de los extractores		→								
Investigación principios básicos de ventiladores y extractores			→							
Investigación principio para diagnóstico de la contaminación ambiental							→			
Estudio ambiental (Caracterización del material particulado)								→		
Cálculo y diseño del sistema ideal de extracción				→						
Caracterización del ventilador (Pruebas al ventilador)								→		
Cálculo y diseño del sistema experimental de extracción					→					
Fabricación elementos del sistema de extracción					→					
Montaje del sistema de extracción						→				
Comparación del sistema ideal versus el sistema experimental									→	
Conclusiones										→

BIBLIOGRAFÍA.

- Diseño de conductos de sistemas de ventilación localizada por extracción. [Citado el 04 de Febrero de 2011]. http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados_apuntes_CAPITULO_CALCULO_CONDUCTOS
- Environmental Protection Agency (EPA), Hojas de datos EPA, Técnicas de control de contaminantes del aire, Separadores de Momento. [Citado el 10 de Marzo de 2011]. <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=874>
- Environmental Protection Agency (EPA), Control de materia particulada, Filtros y casas de bolsas, 1998. [Citado el 15 de Junio de 2011]. <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir2/cs6ch1-s.pdf>
- Exovent, Sistemas de ventilación eólico. [Citada el 10 de Octubre de 2010]. <http://www.exovent.com/sistema.htm>
- Filtros de mangas, emison. [Citado el 04 de Febrero de 2011]. <http://www.emison.com/1183.htm>
- Gatti ventilación, ventiladores centrífugos [citado el 10 de Octubre de 2010]. http://images.google.com/imgres?imgurl=http://www.sanfranciscovirtual.com/empresas/1/galeria_productos/f8.jpg&imgrefurl=http://www.sanfranciscovirtual.com/argentina/empresas/productos_servicios/descripcion/1/productos/8/&usg=__jEO-thgMtyyiL6LgvbZBA4kgqWc=&h=291&w=293&sz=18&hl=es&start=146&zoom=1&itbs=1&tbnid=QkXPTXcYwMY71M:&tbnh=114&tbnw=115&prev

=/images%3Fq%3Dextractores%2Bcon%2Bmotor%2Belectrico%26start%3D140%26hl%3Des%26sa%3DN%26ndsp%3D20%26tbs%3Disch:1

- GAYSO S.A. 2011, Informe “Valores límites permisibles o TLVs”. [Citado el 24 de Octubre de 2011].
- GIRALDO SALINAS, Jaime Ramiro. Curso “Principios para el diagnóstico de la contaminación atmosférica”, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín Colombia. [Citado el 15 de Septiembre de 2011].
- La ventilación, Módulo: instalaciones de climatización y ventilación. [Citado el 04 de Febrero de 2011].
<http://www.scribd.com/doc/25470435/ventilacion-1>
- PÉREZ LÓPEZ, Gabriel. Ficha técnica “Ventilación por extracción localizada”, 2009. [Citado el 10 de Marzo de 2011].
- PRIETO BELTRÁN, Julio. Tesis “Determinación de tamaño y concentración de partículas en una industria de procesamiento de agregados utilizando un impactador de cascada”, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2003. [Citado el 1 de Agosto de 2011].
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2157/1/4272.pdf>
- QUINCHÍA HERNÁNDEZ, Rigoberto y PUERTA SEPÚLVEDA, Jorge. Libro “Ventilación Industrial”, Medellín 1988. [Citado el 15 de Junio de 2011].
- SERRANO MONTERO, Rafael. Kurú, Revista Forestal (Costa Rica), 2006. [Citado el 16 de Febrero de 2011].
http://www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/anteriores/anterior8/pdf/nota%203.pdf

- Soler & Palau, Depuración del aire, Hojas Técnicas, 2006. [Citado el 16 de Febrero de 2011]. http://www.solerpalau.es/formacion_01_37.html
- Soler & Palau, Sistemas de ventilación, Manual práctico de ventilación, 2006. [Citado el 4 de Febrero de 2011]. http://www.solerpalau.es/formacion_07_01.html
- Tisch Environmental, Ambient Cascade Impactor, Model 20-800, Operations Manual, 1999. [Citado el 1 de Agosto de 2011]. <http://www.tisch-env.com/pdf/te20-800.pdf>
- VELAZQUEZ, Daniel. Publicación “Precipitadores electrostáticos”. 13 de Julio de 2010. [Citado el 04 de Febrero de 2011]. <http://daniel-fisica3ur.blogspot.com/2010/07/precipitador-electrostatico.html>
- Ventiladores centrífugos, (México D.F). [Citado el 04 de Febrero de 2011]. <http://www.extractores.com.mx/centrifugos.htm>

ANEXOS

- A continuación se muestra la cotización del sistema de extracción por parte de la empresa Evaluación & Control Ambiental Ltda.

PROPUESTA VS11-018

SISTEMA DE VENTILACIÓN

Presentada a:

Juan Esteban Burgos

Estudiante de Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD EAFIT

MEDELLÍN, Mayo de 2011

Asunto: Sistema de ventilación.

Atendiendo a su amable solicitud Evaluación & Control Ambiental Ltda. se permite presentar a su consideración nuestra oferta económica para la fabricación de los elementos del sistema de ventilación solicitado:

Sistema de extracción

Ítem	Descripción	Cant.	Unid.	Precio un.	Sub-total
1	Turbina tipo R modelo R12Y Condiciones de operación Caudal= 551 cfm SP=8,56 c.a std Rpm=3500 Incluye: Compuerta de inspección Guarda motor	1	Un.	1634000	2505300
	Bases anti-vibrátiles Acople flexible	1		280000	
	Motor Siemens 2 Hp a 3600 rpm 220-440 v/60Hz	1	Un.	591300	
2	Sistema de ductos Acero Galvanizado c-22 Incluye: Accesorios (bridas, tornillería, empaque)	10	Un.	125805	1258050
3	Filtro de talegas Ancho x largo x alto: (0.829x0,829x4,98) m Arreglo 3x3 Material Acero estructural A-36 Incluye: Plataforma + escalera tipo gato Pulmón Válvulas solenoides Manómetro diferencial (entre cámara sucia y cámara limpia) Arreglo de mangas Tolva Compuerta tipo scuchilla s(en la descarga)	1		3620000	3620000
				Total	7383350

CONDICIONES COMERCIALES

IVA

No está incluido en el precio anterior y se cobrará de acuerdo a la legislación vigente en el momento de facturar.

FORMA DE PAGO

- Para suministro de equipos y ductos.

50 % anticipo a la aceptación de la propuesta

50 % a entrega de los equipos.

TIEMPO DE ENTREGA

Cinco (5) semanas contadas a partir de la fecha de recepción de la orden de compra o firma del contrato y el recibo del anticipo correspondiente.

ALIDEZ DE LA OFERTA

La validez de la presente oferta es de 30 días calendario, contados a partir de la fecha de presentación de ésta.

GARANTIA

E&C Ambiental Ltda., garantiza que sus productos contra defectos en materiales y mano de obra por el término de un (1) año contado a partir de la fecha original de embarque.

La responsabilidad de E&C Ambiental Ltda. estará limitada al suministro de las partes defectuosas para la reparación del producto, mas no a la instalación de las mismas, reservándose el derecho de efectuar la reparación en sus instalaciones, o en cualquier centro de reparación debidamente autorizado.

En caso de que fuera necesario el desplazamiento del equipo, los fletes serán con cargo al comprador.

E&C Ambiental Ltda. no asume responsabilidad por daño directo, incluyendo sin limitación, pérdidas de producción, tiempo ocioso, daños a terceros o cualquier otro costo, como consecuencia de desperfectos en los equipos suministrados por nosotros.

La validez de la Garantía, no se aplica a productos que muestren daño por abuso, a productos que hayan sido alterados por otros, excepto con autorización escrita de E&C Ambiental Ltda., o a productos que hayan sido sometidos a atmósferas corrosivas o anormales, ni tampoco a productos que hayan cumplido una vida normal de uso.

En relación con equipos eléctricos y electrónicos, tales como controladores y motores, INGEAIRE S.A.S. se limita a gestionar la garantía ante el fabricante de estos.

NOTAS:

- Toda aprobación de oferta debe ser aceptada por E&C Ambiental Ltda., mediante comunicación escrita.
- Una vez iniciado el proceso de fabricación, la orden de compra no puede ser revocada o cancelada; a no ser que E&C Ambiental Ltda. lo acepte con previo acuerdo de una indemnización.
- Cualquier modificación de las condiciones iniciales requeridas por el cliente será considerada como adicionales; y como tales serán facturadas con previa aprobación por parte del cliente.

OBRAS NO INCLUIDAS

Las siguientes obras o ítems no están incluidos en la presente oferta:

- Montaje
- Transporte
- Silenciador
- Acometidas eléctricas a cero (0) metros del equipos (motor del ventilador).
- Tableros eléctricos de potencia y control.
- Obras más allá de las expresamente cotizadas.

SITIO DE ENTREGA

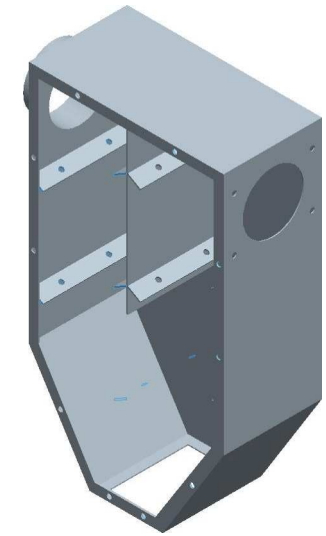
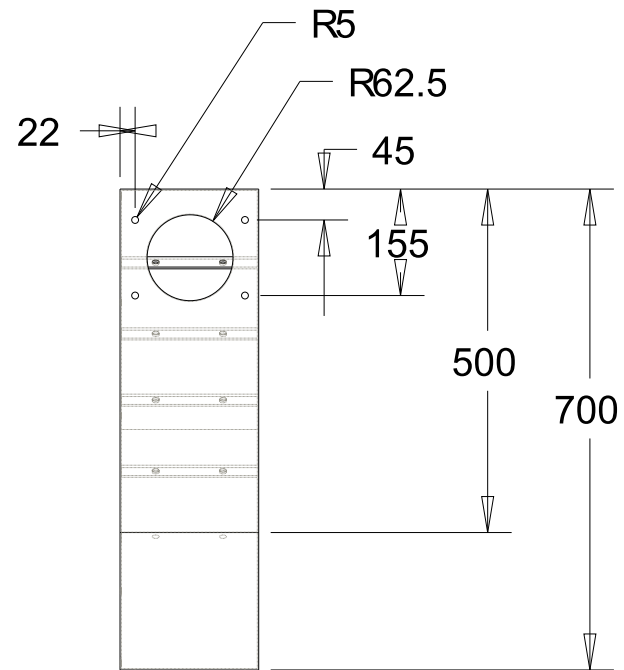
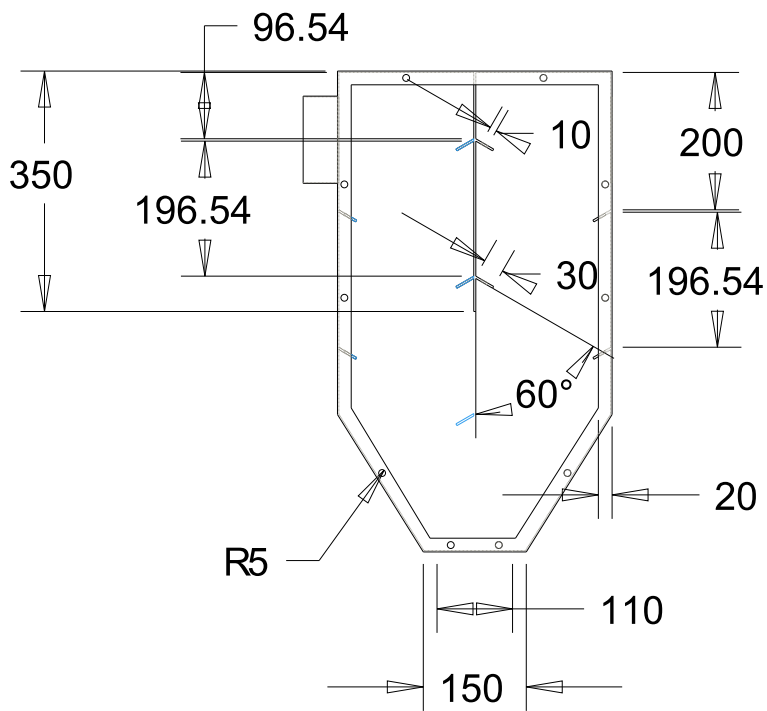
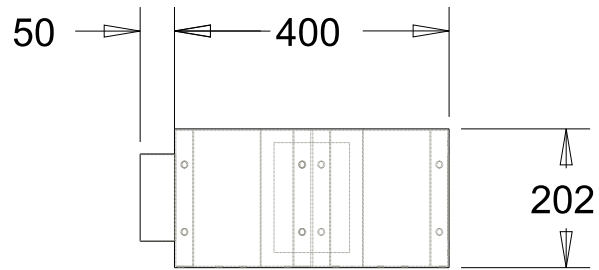
Los elementos anteriores serán entregados en las instalaciones de la planta de producción de E&C Ambiental Ltda.

Cordialmente.

FELIPE ARANGO LONDOÑO
Ingeniero de Proyectos

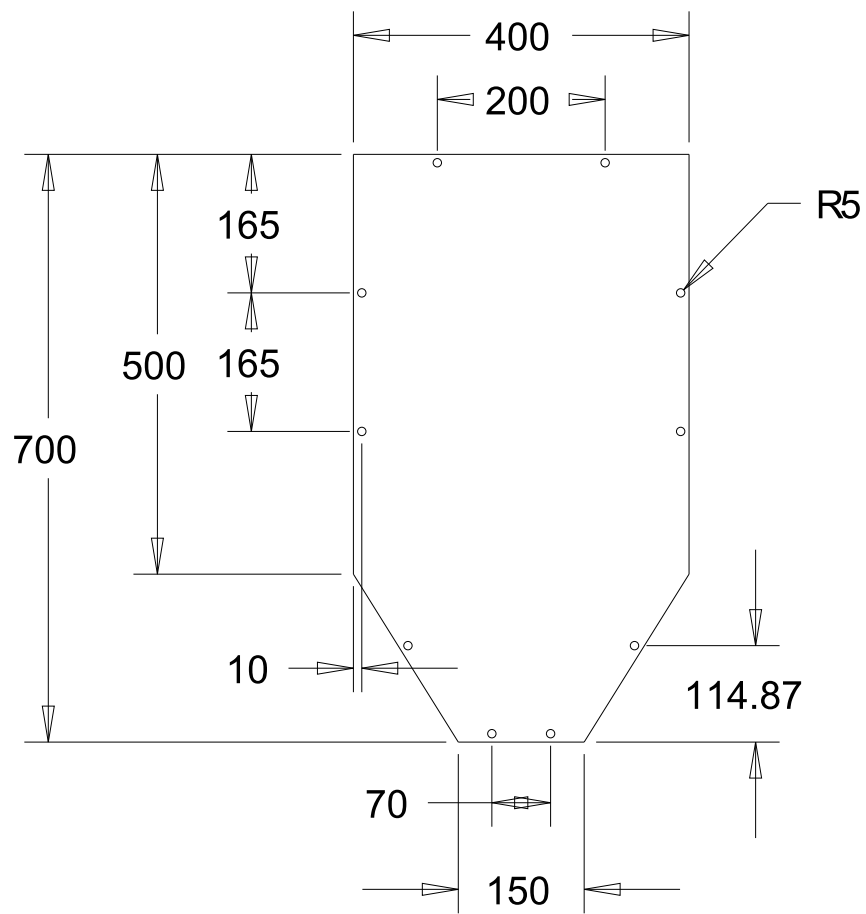


- A continuación se presentan los planos del sistema de extracción y algunas fotos de la instalación.



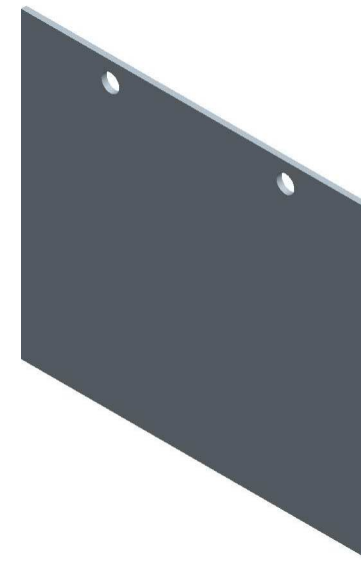
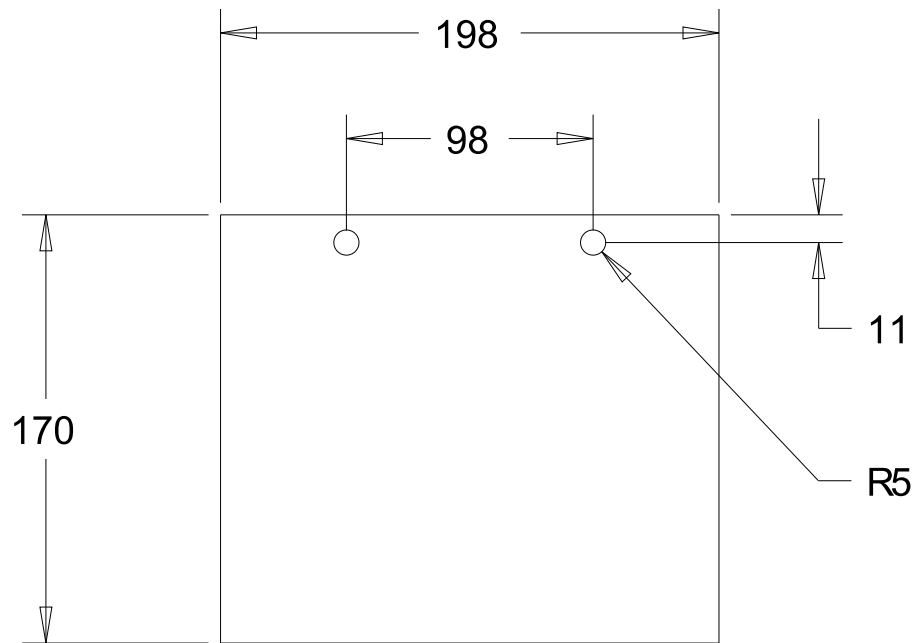
* LAMINA ACERO GALVANIZADO DE 3 mm

MATERIAL		FECHA Diseño Mayo 2011		UNIVERSIDAD EAFIT Carrera 49 - 7 Sur 50 Medellín - Colombia - Suramérica		
A. GALVANIZADO		JUAN E. BURGOS				
A MENOS QUE SEA ESPECIFICADO DIMENSIONES ESTAN EN MM		Plano 26-May-11		TITULO SEPARADOR DE PARTICULAS		
JUAN E. BURGOS						
PLANO No : 1		TOLERANCIAS				
 FORMATO ISO A		0,0	±0,15	PRO/E DRAW FILE SEPARADOR_PARTICULAS		REV
		0,00	±0,05			
INGENIERIA MECÁNICA		ANG	± 1	FORM A4 ESCALA 0.091 HOJA 1 OF 1		



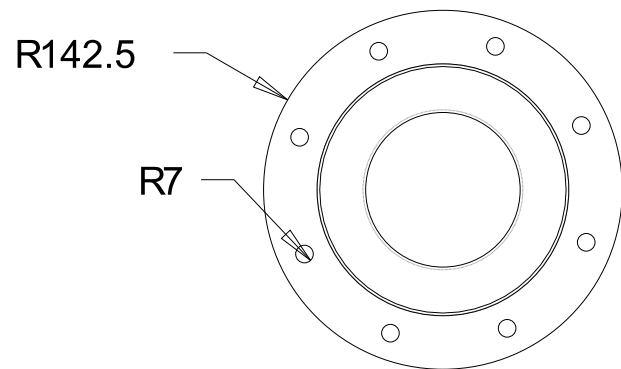
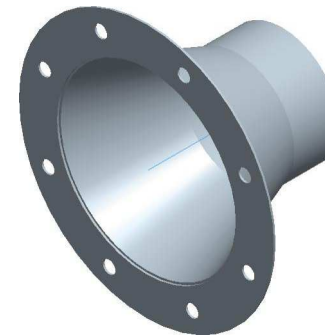
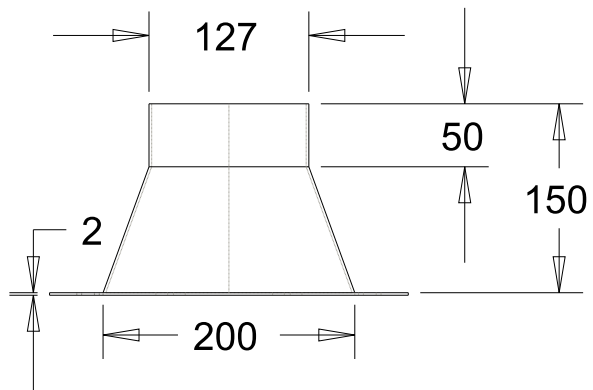
* LAMINA ACERO GALVANIZADO DE 3 mm

MATERIAL		FECHA Diseño Mayo 2011		UNIVERSIDAD EAFIT Carrera 49 - 7 Sur 50 Medellín - Colombia - Suramérica	
A. GALVANIZADO		JUAN E. BURGOS			
A MENOS QUE SEA ESPECIFICADO DIMENSIONES ESTÁN EN MM		Plano 26-May-11		TITULO TAPA SEPARADOR DE PARTICULAS	
JUAN E. BURGOS		JUAN E. BURGOS			
PLANO No : 2		TOLERANCIAS		PRO/E DRAW FILE TAPA_SEPARADOR_PARTICULAS	
 FORMATO ISO A		0,0	±0,15		
		0,00	±0,05		
INGENIERIA DE DISEÑO DE PRODUCTO		ANG	± 1	REV	
		FORM A4	ESCALA 0.111	HOJA 1 OF 1	

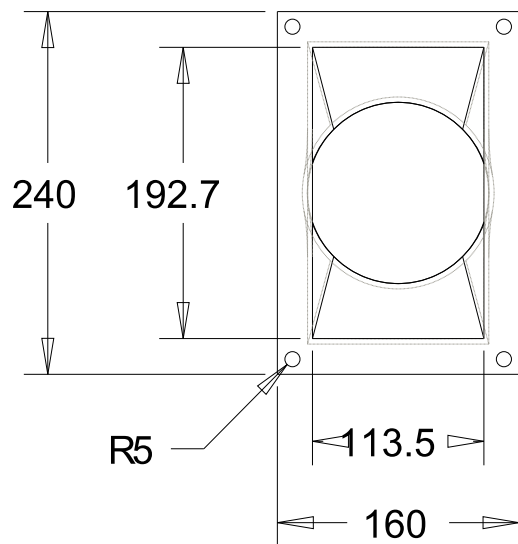
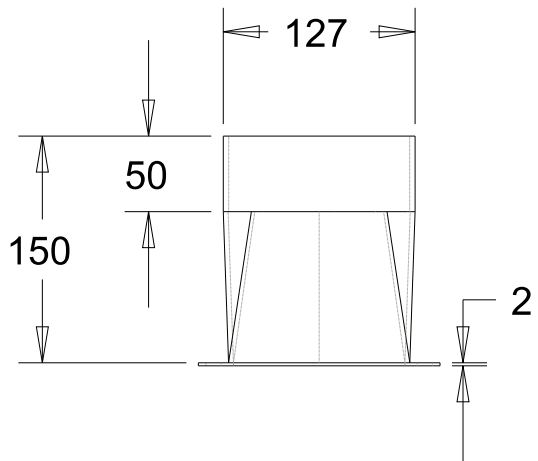


* LAMINA ACERO GALVANIZADO DE 3 mm

MATERIAL		FECHA Diseño Mayo 2011		UNIVERSIDAD EAFIT	
A. GALVANIZADO		JUAN E. BURGOS		Carrera 49 - 7 Sur 50 Medellín - Colombia - Suramérica	
A MENOS QUE SEA ESPECIFICADO DIMENSIONES ESTAN EN MM		Plano 26-May-11 JUAN E. BURGOS		TITULO	
PLANO No : 3		TOLERANCIAS		PALETAS	
 FORMATO ISO A		0,0	±0,15	PRO/E DRAW FILE	
		0,00	±0,05	PALETAS	
INGENIERIA DE DISEÑO DE PRODUCTO		ANG	± 1	FORM A4	ESCALA 0.333 HOJA 1 OF 1



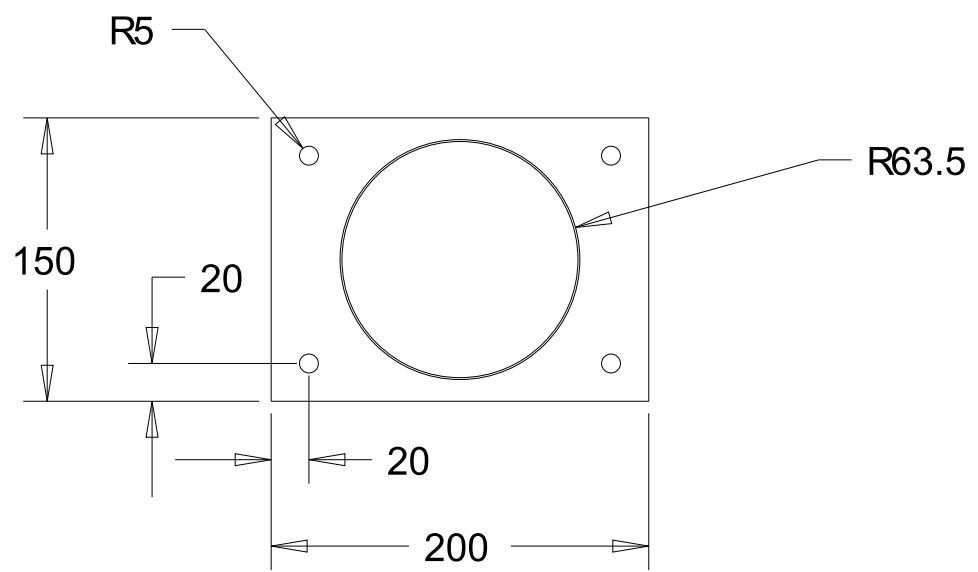
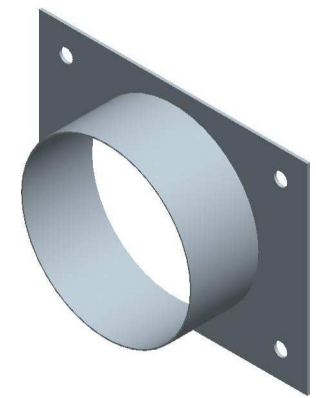
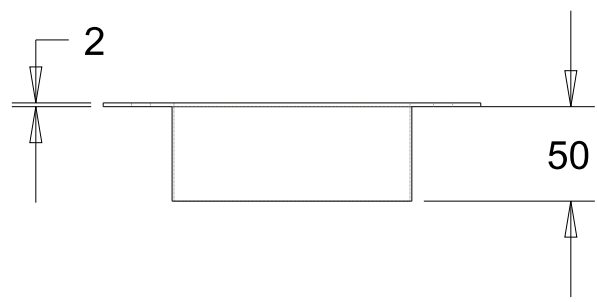
MATERIAL		FECHA Diseño Mayo 2011		UNIVERSIDAD EAFIT Carrera 49 - 7 Sur 50 Medellín - Colombia - Suramérica	
A. GALVANIZADO		JUAN E. BURGOS			
A MENOS QUE SEA ESPECIFICADO DIMENSIONES ESTAN EN MM		Plano 26-May-11 JUAN E. BURGOS		TITULO	
PLANO No : 4		TOLERANCIAS		TRANSICIÓN 1: ENTRADA VENT.	
 FORMATO ISO A INGENIERIA DE DISEÑO DE PRODUCTO		0,0	±0,15	PRO/E DRAW FILE ENTRADA_VENTILADOR	
		0,00	±0,05		
ANG		± 1	FORM A4 ESCALA 0.167 HOJA 1 OF 1		



MATERIAL		FECHA Diseño Mayo 2011		UNIVERSIDAD EAFIT	
A. GALVANIZADO		JUAN E. BURGOS		Carrera 49 - 7 Sur 50 Medellín - Colombia - Suramérica	
A MENOS QUE SEA ESPECIFICADO DIMENSIONES ESTAN EN MM		Plano 26-May-11		TITULO	
JUAN E. BURGOS		TOLERANCIAS		TRANSICIÓN 2: SALIDA VENT.	
PLANO No : 5					
 FORMATO ISO A		0,0	±0,15	PRO/E DRAW FILE SALIDA_VENTILADOR	
		0,00	±0,05		
INGENIERIA DE DISEÑO DE PRODUCTO		ANG	± 1	REV	
		FORM A4 ESCALA 0.200 HOJA 1 OF 1			

A
B
C
D
E
F

1 2 3 4 5 6 7 8



MATERIAL		FECHA Diseño Mayo 2011		UNIVERSIDAD EAFIT	
A. GALVANIZADO		JUAN E. BURGOS		Carrera 49 - 7 Sur 50 Medellín - Colombia - Suramérica	
A MENOS QUE SEA ESPECIFICADO DIMENSIONES ESTAN EN MM		Plano 26-May-11 JUAN E. BURGOS		TITULO	
PLANO No : 6		TOLERANCIAS		SALIDA SEPARADOR DE PARTICULAS	
 FORMATO ISO A		0,0	±0,15	PRO/E DRAW FILE	
		0,00	±0,05	SALIDA_SEPARADOR_PARTICULAS	
INGENIERIA DE DISEÑO DE PRODUCTO		ANG	± 1	FORM A4	ESCALA 0.250 HOJA 1 OF 1

1 2 3 4 5 6 7 8

