

**DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES DEL PLAN DE MANEJO
AMBIENTAL –PARTE AIRE- DE LA TRILLADORA SAN MATEO DEL
MUNICIPIO DE CHINCHINÁ**

BIBIANA MARIA HERRERA SEPULVEDA

DIVA NELLY VALENCIA RIVILLAS

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL ÉNFASIS SANITARIA
DICIEMBRE DE 2005**

Trabajo de grado para optar al título de
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA AMBIENTAL ÉNFASIS EN SANITARIA

DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL
-PARTE AIRE- DE LA TRILLADORA SAN MATEO DEL MUNICIPIO DE
CHINCHINÁ

BIBIANA MARIA HERRERA SEPÚLVEDA
DIVA NELLY VALENCIA RIVILLAS

Modalidad: **Informe final**

Director:

JORGE ELIECER MARIN ARIAS

Ingeniero Químico Ms. Sc. Especialista en Ingeniería Ambiental.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GENERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1 NATURALEZA DEL MATERIAL PARTICULADO	6
3.1.1 Partículas Primarias.	7
3.1.2 Velocidad de Sedimentación y Fuerza de Retardo.	8
3.1.2.1 Ley de Stokes.	9
3.1.2.1.1 Partículas demasiado grandes para aplicar la ley de Stokes.	9
3.1.2.1.2 Partículas demasiado pequeñas para la Ley de Stokes.	10
3.2 COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN LA ATMÓSFERA.	11
3.3 MECANISMOS DE COLECCIÓN DE PARTÍCULAS	13
3.4.1 Cámara de Sedimentación por Gravedad	16
3.4.2 Separadores Ciclónicos	17
3.4.3 Colectores Húmedos	24
3.4.4 Filtros de Tela	31
3.4.5 Precipitadores electrostáticos	44
3.5 Características que deben tener los equipos de remoción de aire.	46
3.5.1 <i>Comparación de los equipos de control de partículas</i>	46
3.6 CONTAMINACIÓN POR RUIDO	47
3.6.1 Efectos Significativos del Ruido.	48
3.6.2 Mantenimiento y Ecoconcepción.	48
3.6.3 Programa de Control de Ruido (PCR)	49
3.6.4 Descriptores Principales del Ruido	50
3.6.4.1 La Dosis Porcentual de Ruido (D).	51
3.6.4.2 Tiempo De Exposición.	51
3.6.4.3 Nivel de Exposición del Personal.	51

3.6.5 Protectores Auditivos	51
3.6.6 Encapsulamientos y Pantalla	52
3.6.7 Aislamiento de Vibraciones	53
4. DIAGNÓSTICO	55
4.1 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA	55
4.2 INFORMACIÓN DEL PREDIO	55
4.2.1 Datos generales	55
4.2.2 Ubicación	55
4.2.3 Usos del suelo	55
4.2.4 Aspectos socioeconómicos	55
4.2.4.1 Asentamientos o viviendas cercanas a la empresa	56
4.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	56
4.3.1 Climatología	56
4.4 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	56
4.4.1 Localización	56
4.4.2 Distribución de las áreas por actividad	57
4.4.2.1. Area de acceso principal	58
4.4.2.2 Area de oficinas	58
4.4.2.3 Area de compras – comedor.	58
4.4.2.4 Area de acceso segundo piso.	58
4.4.2.5 Area de laboratorios.	58
4.4.2.6 Area de maquinaria.	59
4.4.3 Descripción de las actividades desarrolladas en el predio	59
4.4.3.1 Actividades desarrolladas en la trilladora, capacidad instalada, utilizada y proyectada de las instalaciones	59
4.4.4 Características de la estructura de la planta	60
4.4.4.1 Tipos y características de los equipos con los que cuenta la empresa	61
4.5 PRÁCTICAS DE BIOSEGURIDAD	62
4.6 PLAN DE CONTINGENCIA.	62
4.6.1 Factores de riesgo ambiental	62

4.6.1.1 Escape de material particulado de los sistemas de colección	62
4.6.1.2 Generación permanente de ruido	62
4.6.2 Áreas prioritarias de atención	62
4.6.3 Personal y equipo requerido para afrontar las contingencias	62
4.7 PLAN DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO.	63
4.7.1 Producción de polvo y de cisco	63
4.7.2 Control de los sistemas implementados	63
4.8 COSTOS Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN.	63
5.DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS.	64
5.1 DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA ELIMINACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LA CORRIENTE DE AIRE QUE SALE DE LOS CICLONES SEPARADORES DE CISCO.	64
5.1.1 Descripción general del proceso productivo	64
5.1.1.1 Balance de materia	64
5.1.2 Revisión inicial del sistema actual de eliminación de partículas.	64
5.1.3 Diseño del sistema de colección de partículas	64
5.1.4 Consecución del personal idóneo	69
5.2PLANTEAMIENTO DE LAS ACCIONES PARA UN MANEJO ADECUADO DEL MATERIAL PARTICULADO EN EL INTERIOR DE LA PLANTA.	70
5.3 PROPUESTA DE ACCIONES PARA DISMINUIR LOS NIVELES DE RUIDO DENTRO Y FUERA DE LA PLANTA.	71
5.4 ASESORÍA A LOS REPRESENTANTES LEGALES DE LA TRILLADORA EN LAS ACTIVIDADES, GESTIONES Y DOCUMENTACIÓN QUE DEBEN EFECTUAR O PRESENTAR PARA LA CONSECUCCIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL –PARTE AIRE.	74
5.4.1. Encuesta a la comunidad	74
5.4.2Elaboración de los oficios.	78
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
7.BIBLIOGRAFÍA	83

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 3.1 ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS PARTÍCULAS, RESPECTO AL ÁREA SUPERFICIAL EN UNA ATMÓSFERA INDUSTRIAL.	11
Figura 3.2 MECANISMOS PARA LA ELIMINACIÓN MECANICA DE LAS PARTICULAS	13
Figura 3.2.a. IMPACTACION POR INERCIA	13
Figura 3.2.b. INTERCEPCION DIRECTA	14
Figura 3.2.c. DIFUSION	14
Figura 3.3. CAMARA DE SEDIMENTACION POR GRAVEDAD	16
Figura 3.4. SEPARADORES CICLONICOS	18
Figura 3.5 EFICIENCIA COLECTORA FRACCIONARIA COMO UNA FUNCION DEL TAMAÑO DE LA PARTICULA PARA VARIOS TIPOS DE CICLONES.	19
Figura 3.6. EFICINCIA DEL CICLON vs TAMAÑO DE PARTICULA	23
Figura 3.7. Dimensiones de un Ciclón convencional	23
Figura 3.8. LAVADOR DE TORRE POR ASPERSION	26
Figura 3.9. ESQUEMA DE UN LAVADOR DE PLACAS DE CHOQUE HUMEDO.	27
Figura 3.10. TORRE DE ASPERSION CICLONICA.	28
Figura 3.11. LAVADOR VENTURI DE FLUJO DESCENDENTE, CON INYECCION EN LA GARGANTA	30
Figura 3.12. CASA TIPICA DE BOLSAS CON SACUDIMIENTO MECANICO	33
Figura 3.13. CASA DE BOLSAS CON LIMPIEZA POR FLUJO INVERTIDO	34
Figura 3.14. CASA DE BOLSAS CON LIMPIEZA POR IMPULSOS	35
Figura 3.15. CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DE U FILTRO DE TELA EN FUNCION DE S Y W	40
Figura 3.15.a. ARRASTRE DEL FILTRO (S) vs W	40
Figura 3.15.b ARRASTRE DEL FILTRO (S) vs W/W_T	41

Figura 3.16. CURVAS DE EFICINCIA FRACCIONARIA DE UN FILTRO DE TELA. 42

Figura 3.17 TRASMISIBILIDAD DE LAS VIBRACIONES SEGÚN EL MATERIAL DE LOS CALZOS Y LA FRECUENCIA A AISLAR. 54

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I. Planos de la Trilladora San Mateo

ANEXO II. Registro fotográfico

ANEXO III. Plano del sistema actual de colección de material particulado

ANEXO IV. Descripción del proceso productivo

ANEXO V. Marco Legal

ANEXO VI. Folleto y encuesta

ANEXO VII. Oficios a Corpocaldas

ANEXO VIII. Información empleada en el diseño del sistema de colección de material particulado.

ANEXO IX. Estudio de ruido.

ANEXO X. Cotizaciones y Cronograma de Actividades.

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1 Las eficiencias globales representativas de los ciclones	20
Tabla 2. Relaciones geométricas de los ciclones.	24
Tabla 3. Características de varios tipos de fibras.	36
Tabla 4. Comparación entre equipos colectores de partículas	47
Tabla 5. Sustitución de procesos para minimizar el ruido.	49
Tabla 6 Información de la empresa	55
Tabla 7. Información del predio: Datos generales	55
Tabla 8. Información del predio. Ubicación	55
Tabla 9. Información del predio. Usos del suelo	55
Tabla 10. Aspectos socioeconómicos. Asentamientos o viviendas cercanas a la empresa	56
Tabla 11. Descripción del área de influencia. climatología	56
Tabla 12. Areas para la distribución de bodegas, oficinas y maquinarias.	58
Tabla 13. Descripción de las actividades desarrolladas en el predio	59
Tabla 14. Actividades desarrolladas en la trilladora, capacidad instalada, utilizada y proyectada de las instalaciones	60
Tabla 15. Características de la estructura de la planta	60
Tabla 16. Tipos y características de los equipos con los que cuenta la empresa	61
Tabla 17 Prácticas de Bioseguridad	62

RESUMEN

Debido al desarrollo de muchas de las actividades productivas de la región asociadas a la economía cafetera con las cuales se ve afectado el entorno y la sociedad, es importante promover estrategias enfocadas en adoptar buenas prácticas ambientales encaminadas a la sostenibilidad y al mejoramiento de la competitividad empresarial.

La Trilladora San Mateo, cuyo objeto social es la compra, venta y beneficio de café pergamino, pasillas y trillados, es consciente de los impactos y efectos originados por el desarrollo de sus actividades y operaciones productivas sobre el entorno ambiental y socioeconómico; surge así la necesidad de realizar este trabajo, el cual pretende establecer los programas y mecanismos para la corrección de tales impactos dentro del marco de los planes gubernamentales y la legislación existente en el ámbito nacional, regional y local.

Estos programas están enfocados a mitigar los problemas de la contaminación en cuanto a emisiones y elevados niveles de ruido que se generan en el interior y se transmiten a los alrededores de la planta, mediante el diseño de un sistema de colección del material particulado, la propuesta de alternativas para solucionar los problemas de ruido y la asesoría a la Trilladora frente a la autoridad ambiental CORPOCALDAS, con miras a la consecución de su licencia ambiental.

ABSTRACT

The development of many productive activities of the region concerning coffee grower economics, affects the environment and the society; it is important to promote strategies focused to adopt good environmental practices to support and improve the entrepreneurial competitiveness.

San Mateo coffee thresher, whose social and economic objective is to purchase and process coffee bean, is aware of the impacts and effects due to the development of its activities and productive operations over the environment; then, it was necessary to do this work, to establish several programs that correct these impacts into the governmental framework by the national and local legislation.

These programs are focused to reduce or minimize the contamination due to atmospheric emissions and higher noise levels inside and outside the thresher, by designing a particle collection system, and proposing alternatives to manage noise problems. Finally, the Thresher San Mateo was advised and several documents were prepared, in order to apply for the environmental licence from CORPOCALDAS (The local environmental authority)

1. INTRODUCCION

El aire es una mezcla compleja de muchas sustancias. Los principales elementos constitutivos del aire son el nitrógeno, oxígeno y vapor de agua. Aproximadamente 78 por ciento del aire es nitrógeno y 21 por ciento oxígeno. El uno por ciento restante incluye pequeñas cantidades de sustancias, como el dióxido de carbono, metano, hidrógeno, argón y helio.¹

Se desconoce la composición del aire no contaminado. En teoría, el aire siempre ha tenido cierto grado de contaminación debido a fenómenos naturales (erupción de volcanes, tormentas de viento, descomposición de plantas y animales, etc.). Sin embargo, cuando se habla de la contaminación del aire, los contaminantes son aquéllos generados por la actividad del hombre. Se puede considerar como contaminante a la sustancia que produce un efecto perjudicial en el ambiente y que pueden alterar tanto la salud como el bienestar de las personas.¹

Hay cientos de contaminantes en el aire que se presentan en forma de gases y partículas. Los gases incluyen sustancias como el monóxido de carbono, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles. El material particulado está compuesto por pequeñas partículas líquidas o sólidas de polvo, humo, niebla y ceniza volante.¹

Las partículas finas pueden permanecer suspendidas en el aire y viajar largas distancias con el viento, ensuciando edificios, murales, viviendas y otras estructuras exteriores. De igual forma dichas partículas le hacen daño al ambiente. La contaminación generada se aprecia cuando ésta causa bruma reduciendo la visibilidad en lugares como parques y vías donde se espera ver largas distancias claramente.

¹ <http://www.prodigyweb.net.mx/redmas/pm.htm>

Debido a la desventajosa ubicación de la trilladora en un poblado y céntrico barrio del municipio de Chinchiná (Caldas), se han generado constantes quejas por parte de la comunidad vecina, que ha expresado su inconformidad e incomodidad ante la autoridad ambiental CORPOCALDAS, por la generación de ruido durante todo el día, ocasionado por la operación y vibración de los grandes equipos de trilla y los problemas de emisión de polvo y cisco que se ve evidenciada en suciedad de la ropa y paredes en los patios y casas vecinas.

El trabajo se encuentra enfocado a proponer obras que introduzcan una dimensión ambiental a las actividades productivas de la trilladora San Mateo haciendo más armónicas las relaciones entre la Industria, La comunidad y el medio ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer y desarrollar actividades encaminadas al cumplimiento de la legislación ambiental –parte aire- en la Trilladora San Mateo del Municipio de Chinchiná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un sistema para la eliminación de partículas sólidas de la corriente de aire que sale de los ciclones separadores de cisco.
- Plantear acciones para un manejo adecuado del material particulado en el interior de la planta.
- Proponer acciones para disminuir los niveles de ruido dentro y fuera de la planta.
- Asesorar a los representantes legales de la Trilladora en las actividades, gestiones y documentación que deben efectuar o presentar para la consecución de la licencia ambiental –parte aire.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 NATURALEZA DEL MATERIAL PARTICULADO

En la naturaleza, el material particulado se forma por muchos procesos, tales como el viento, polinización de plantas e incendios forestales, aunque su efecto se ve incrementado por actividades humanas que implican el cambio de uso de suelo. Las principales fuentes antropogénicas de pequeñas partículas incluyen la quema de combustibles sólidos como la madera y el carbón, las actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos y la industria de la construcción; También provienen de chimeneas, estufas de leña, caminos no pavimentados, material proveniente de las operaciones de trituración y pulverización son llevados al aire por el viento.^{1,2}

Con la denominación de partículas totales en suspensión (PST) se reconoció a una amplia categoría de material particulado como contaminante criterio. Las PST son las partículas sólidas o líquidas del aire, que incluyen contaminantes primarios como el polvo y el hollín y contaminantes secundarios tales como partículas líquidas producidas por la condensación de vapores. En los últimos años se han especificado normas sobre el material particulado con menos de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM₁₀) y además al material particulado con menos de 2.5 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM_{2.5}). Estas partículas son comúnmente referidas como PM₁₀ y PM_{2.5}, respectivamente. La razón fundamental de esta especificación se debe a que las partículas más pequeñas son más peligrosas para la salud de los seres humanos porque son capaces de alcanzar las zonas profundas de los pulmones.¹

El material particulado puede tener efectos en la salud y bienestar del hombre. Puede contribuir a aumentar las enfermedades respiratorias como la bronquitis

¹ <http://www.prodigyweb.net.mx/redmas/pm.htm>

2. <http://www.epa.gov/air/espanol/peg/key01.html>

y exacerbar los efectos de otras enfermedades cardiovasculares y en general disminuir la esperanza de vida de adultos mayores y enfermos. Asimismo, afecta la visibilidad y velocidad de deterioro de muchos materiales hechos por el hombre. ¹

Las partículas presentes en los contaminantes no son químicamente uniformes, sino que entran dentro de una gama de tamaños, formas y composiciones químicas ¹.

3.1.1 Partículas Primarias. ³

Son aquellas que se emiten a la atmósfera directamente de la fuente y mantienen la misma forma química (p.e. cenizas de la quema de residuos sólidos).

Tamaño de las partículas. El diámetro es una propiedad inherente a aquellas partículas que son esféricas. Algunas partículas relacionadas con la contaminación del aire se desvían de forma radical de la forma esférica. Para estudiar los efectos de estudio de emisiones, se asumirá como “el diámetro de una esfera de volumen igual”, es decir:

$$D = \left(\frac{6 * V}{\pi} \right)^{1/3} \quad \text{Ec.1}$$

El diámetro de una partícula se expresa en micras o micrómetros cuando se trabaja en el SI.

Algunos contaminantes industriales en partículas (por ejemplo el carbón pulverizado tiene un rango de tamaño desde 3 a 400 μ) se pueden crear en forma mecánica, pero la mayor parte de los procesos de trituración y molido no producen partículas con tamaño menor a mas o menos 10 μ , excepto algunos

³ NOEL DE NEVERS. Ingeniería de control de la contaminación del aire. Mc Graw Hill. México. 1997

pigmentos de pinturas y el talco molido, los cuales pasan por operaciones de molido extremas, para obtener el tamaño de fino requerido de partícula.

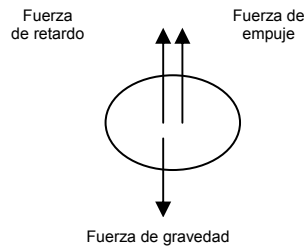
Por el contrario, la mayor parte de partículas finas (0,1 a 10 μ), se obtienen por procesos de combustión, evaporación o condensación, un ejemplo de ello es el humo del tabaco, el cual consta de pequeñas gotas de hidrocarburos condensados (aceites, alquitranes) de un tamaño de 0,01 a 1 μ .

Cuando dos partículas finas entran en contacto físico directo, se unirán entre sí debido a la acción de las fuerzas de enlace, electrostáticas y de Van Der Waals; en general estas fuerzas son proporcionales al área superficial de la partícula. La mayor parte de las partículas que se encuentran son bastante grandes como para que la gravedad o la inercia superen las fuerzas electrostáticas o de Van Der Waals. Las fuerzas de Van Der Waals y de inercia son proporcionales a la masa de la partícula, la cual es proporcional a D^3 , por su parte el área superficial es proporcional a D^2 . Al disminuir el tamaño de partícula D^3 , decrece mucho más rápido que D^2 , de modo que la relación de las fuerzas electrostáticas y de Van Der Waals a las de gravedad y de inercia se hace más grande, de tal manera que al tener un conglomerado de partículas de igual tamaño, al tirarlas, no se fragmentarían en partículas del mismo tamaño sino en otras mucho más pequeñas, manteniéndose juntas debido a todas las fuerzas que actúan sobre ellas.

3.1.2 Velocidad de Sedimentación y Fuerza de Retardo.

La gravedad específica es la velocidad a la cual una partícula se sedimenta verticalmente a través del agua o de la atmósfera y es proporcional al diámetro (masa). De este modo se establece una diferencia entre el polvo, que se asienta con rapidez en la atmósfera debido a su alta velocidad gravitacional de sedimentación, y las partículas suspendidas las cuales se sedimentan con tanta lentitud que solo pueden ser eliminadas por precipitación, se puede

3.1.2.1 Ley de Stokes. El siguiente esquema muestra las fuerzas que actúan sobre una partícula en un fluido:



Las fuerzas que actúan sobre una partícula esférica que se sedimenta a través de un fluido bajo la influencia de la gravedad expresadas en primer término con la ley de Newton.

$$ma = \rho_{particula} \left(\frac{\pi}{6} \right) D^3 g - \rho_{fluido} \left(\frac{\pi}{6} \right) D^3 g - Fd \quad \text{Ec. 2}$$

Cuando la resultante de estas fuerzas es cero y la partícula continúa a velocidad constante después de haber partido de una posición en reposo se obtiene, la ecuación de Stokes:

$$V = g * D^2 \left(\frac{\rho_{particula} - \rho_{fluido}}{18\mu} \right) \quad \text{Ec.3}$$

3.1.2.1.1 Partículas demasiado grandes para aplicar la ley de Stokes. A medida que las partículas aumentan el tamaño, llega un momento en el cual el movimiento del fluido en torno a la esfera, cambiando a un régimen turbulento, en el cual las hipótesis de la Ley de Stokes ya no es válida.

A continuación se muestra entonces una posibilidad de correlacionar los datos experimentales obtenidos en este caso, por medio de una relación no dimensional llamado Coeficiente de Retardo C_D , expresado en la siguiente ecuación:

$$C_D = \frac{F_D}{\left(\frac{\pi}{4} \right) D^2 \rho_{fluido} \left(\frac{V^2}{2} \right)} \quad \text{Ec.3}$$

La anterior ecuación se encuentra expresada de manera implícita el $Re_{Part.}$, por lo tanto se puede expresar de la siguiente forma:

$$C_D = \frac{24}{R_{Partícula}} \left(1 + 0,14 * R_{Partícula}^{0,7} \right) \quad \text{Ec.4}$$

Para partículas mucho más grandes que 50μ , se perdería la veracidad en los resultados, si se aplica la Ley de Stokes en lugar de la utilización de los coeficientes experimentales de retardo.

3.1.2.1.2 Partículas demasiado pequeñas para la Ley de Stokes. Cuando una partícula se vuelve tan pequeña como la distancia promedio entre las moléculas, incluso menor que esta distancia, entonces cambia su interacción con estas. Cuando una partícula tiene un número grande de colisiones como si fueran un espejo, con un ángulo de inflexión que es igual al de incidencia. El efecto del cambio de la reflexión especular a las direcciones aleatorias que allí se den, es la disminución de la fuerza de retardo, lo que hace que la partícula se mueva más rápido, por lo tanto se va a introducir una corrección para corregir este cambio:

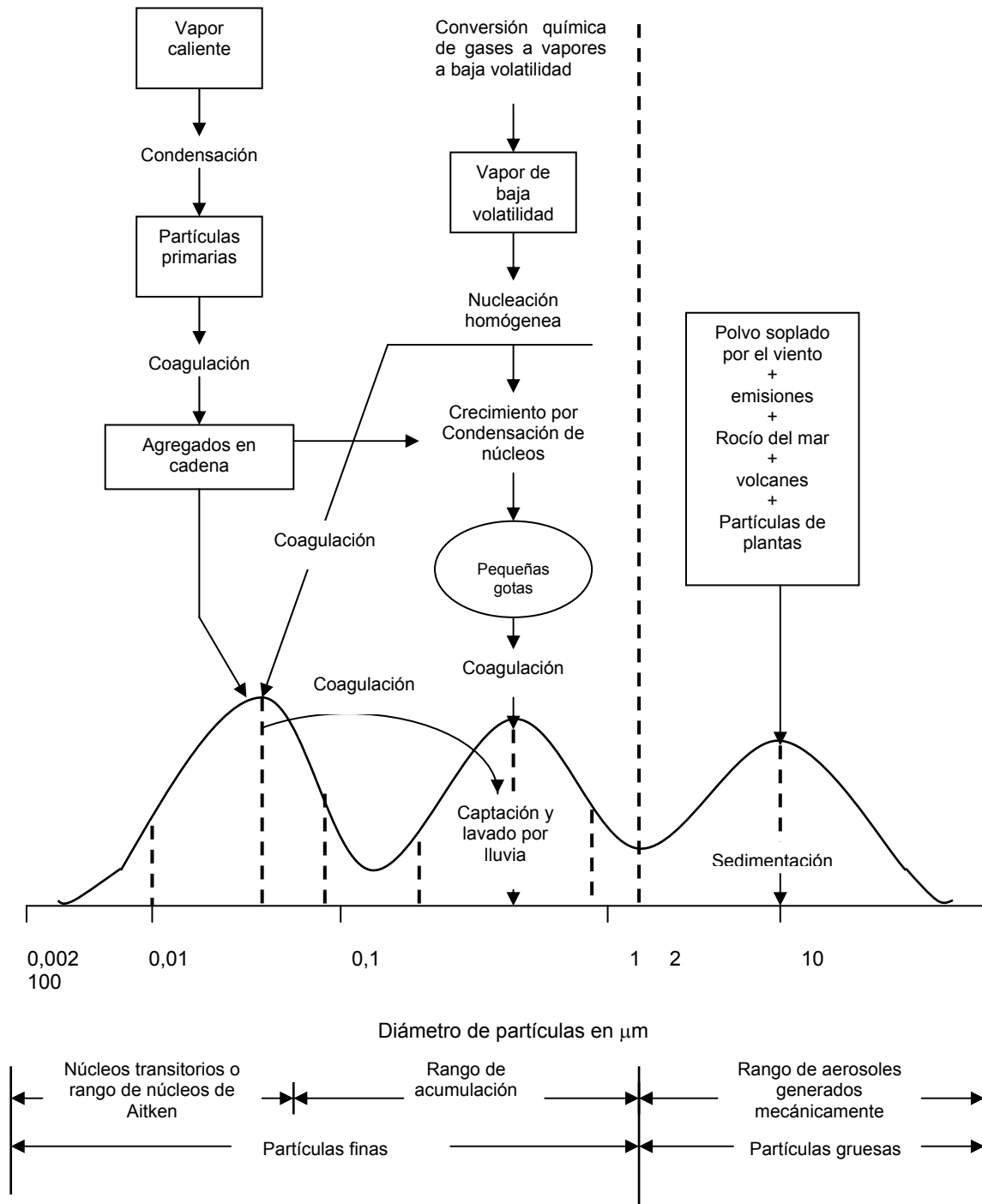
$$F_D = \frac{F_{DStokes}}{1 + A\lambda/D} \quad \text{Ec.5}$$

Donde el término del denominador se conoce como *factor de corrección de Cunningham*, aplicable para casos en los cuales el término $\lambda = D$ es igual a 1,0.

A es una constante, pero varía de una partícula a otra, aunque muchos investigadores le han dado un valor de 1,728 (para gotitas de aceite que se sedimentan en el aire).

3.2 COMPORTAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS EN LA ATMÓSFERA.⁴

Figura 3.1 . Estimación de la distribución de las partículas, respecto al área superficial en una atmósfera industrial.



⁴ NOEL DE NEVERS. Ingeniería de control de la contaminación del aire. Mc Graw Hill. México. 1997

Las partículas más finas, con diámetros entre $0,005$ a $0,1\mu$ entran a la atmósfera en su mayor parte por condensación de vapor caliente proveniente de fuentes de combustión. Al transcurrir el tiempo (unas pocas horas), estas partículas más pequeñas crecen, generalmente por aglomeración de cada una de ellas sobre las otras; parte de esta aglomeración ocurre en la fase gaseosa, causada por el Movimiento Browniano que las lleva a que entren en contacto. Este fenómeno ocurre en el interior de las nubes o gotitas de niebla.

Las partículas de tamaño mediano ($0,1$ a $1,0\mu$) se forman parcialmente por la aglomeración de partículas más finas y por la conversión química de gases y vapores en partículas de la atmósfera. Estas partículas son bastante grandes como para ser removidas mediante *captación por la lluvia* (captura por las gotas en las nubes) o mediante *lavado por lluvia* (captura por las gotas de lluvia que caen). Aunque crecen por aglomeración para formar partículas más grandes, este proceso es lento en comparación con la captación y lavado por la lluvia.

Las partículas más grandes (2 a 100μ) se generan en forma mecánica; algunas provienen de fuentes industriales. La mayor parte de estas partículas son removidas gracias a la sedimentación por la gravedad, gracias a la acción de las nubes, bien sea en presencia o ausencia de lluvia.

3.3 MECANISMOS DE COLECCIÓN DE PARTICULAS⁵

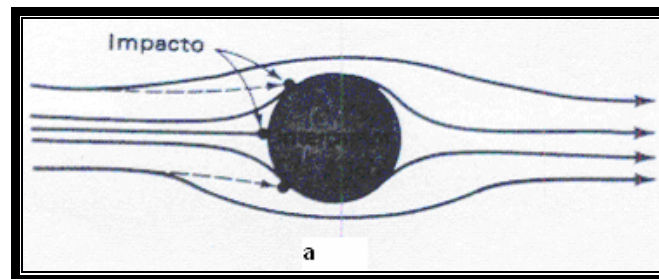
Los seis mecanismos disponibles para la colección de partículas se pueden clasificar como:

- Sedimentación por gravedad
- Impactación centrífuga
- Impactación por inercia
- Intercepción directa
- Difusión
- Efectos electrostáticos.

Uno o más de estos mecanismos son responsables de la remoción de las partículas en cualquiera de los dispositivos industriales de colección. Los fenómenos que implican las fuerzas gravitacionales, centrífugas y electrostáticas, se ilustran en la siguiente figura:

FIGURA 3.2 MECANISMOS PARA LA ELIMINACIÓN MECANICA DE LAS PARTICULAS

Figura 3.2.a. IMPACTACION POR INERCIA



⁵ WARK-WARNER. Contaminación del Aire. Origen y Control. Editorial Limusa. México. 2002

Figura 3.2.b. INTERCEPCION DIRECTA

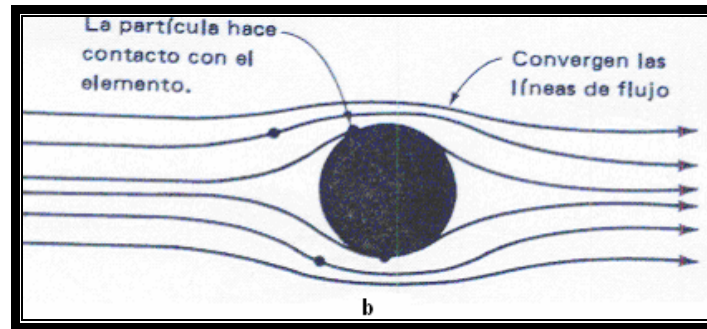
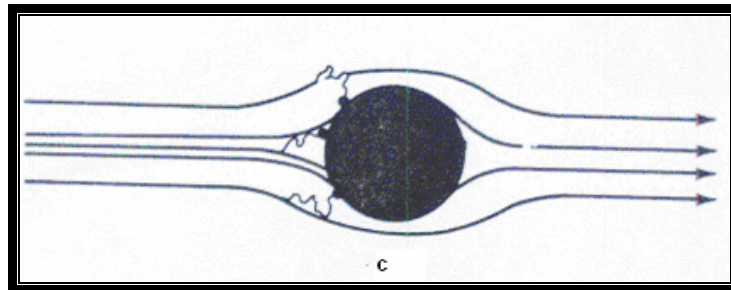


Figura 3.2.c. DIFUSION



Las partículas son arrastradas a aproximadamente la misma velocidad que la del gas en la tubería. Debido a su extrema ligereza, el gas se mueve en flujo laminar alrededor de cualquier objeto en su camino. Sin embargo, la partícula sólida con una masa mucho más pesada resiste los cambios de movimiento. Mientras mayor sea la partícula menor será su tendencia a cambiar de dirección. En la figura 3.2.a se muestra por inercia, asociada con las partículas relativamente grandes que viajan en una ruta de colisión con el interceptor. La inercia la mantiene en su recorrido, a pesar de que el gas y las partículas más pequeñas tienden a desviarse y pasar alrededor del interceptor.

La figura 3.2.b se ilustra la intercepción directa, algunas de las partículas más pequeñas, a pesar de que tienden a seguir el flujo laminar, pueden hacer contacto con el interceptor en el punto de mayor acercamiento; esto ocurre debido a que las líneas de flujo laminar tienden a converger según el gas pasa alrededor del elemento y el radio de la partícula es mayor que la distancia entre la línea de flujo laminar y el elemento.

En la figura 3.2.c se muestra la colección por difusión; en este caso, las partículas muy pequeñas (generalmente menores de $1\mu\text{m}$) chocan contra el colector como resultado del movimiento Browniano molecular aleatorio o difusión.

Puede que sea necesario recubrir el interceptor con alguna sustancia que mejore la adhesión, de lo contrario, las partículas de polvo pueden rebotar por y regresar a la corriente de gas. El recubrimiento reduce también la posibilidad de que las partículas que choquen después con el blanco puedan desprender partículas ya colectadas.

Otro mecanismo para mejorar la eficiencia de colección es la aglomeración. Con esta técnica, se aumenta el tamaño promedio de la partícula, de manera que los colectores aguas abajo tengan una mejor oportunidad de remover el contaminante. A veces las partículas se aglomeran simplemente por atracción intermolecular mutua, pero a menudo puede requerirse una inducción externa, por medio de dispositivos electrostáticos o ultrasónicos, a fin de producir la necesaria aglomeración.

3.4 EQUIPOS DE CONTROL DE PARTICULAS ⁶

Es necesario determinar varios factores técnicos, económicos y los más favorables ambientalmente; entre los más importantes se tienen:

- Características físico-químicas del contaminante, como tamaño de partículas, corrosión, contenido de humedad, viscosidad, combustibilidad y explosividad.
- Concentración de contaminante en la corriente de aire que lo transporta.
- Temperatura de la corriente de aire.
- Grado de colección requerido.

⁶ Información suministrada por el Departamento Desarrollo Técnico C.I Super de Alimentos S.A. Septiembre de 2005.

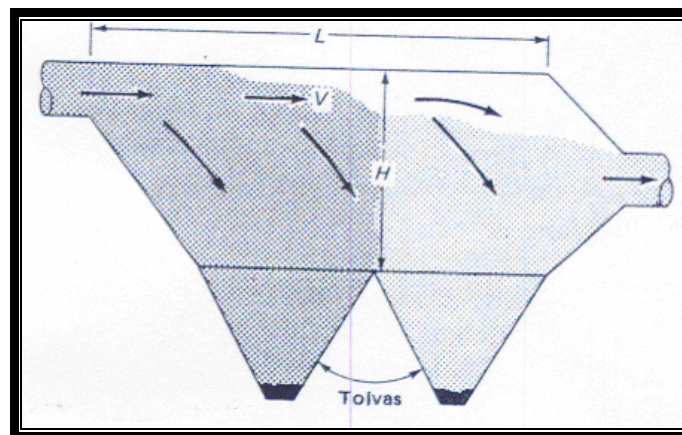
- Energía requerida, considerando la disponibilidad de ella en la región.
- Facilidad de disposición de los desechos líquidos o sólidos obtenidos.
- Características exigidas por la legislación ambiental existente.

A continuación, se presentan las cinco clases básicas de equipos de colección de partículas:

3.4.1 Cámara de Sedimentación por Gravedad

La fuerza gravitacional se puede emplear en cámaras de sedimentación por gravedad cuando la velocidad de sedimentación sea mayor de aproximadamente 25pies/min. En general esto se aplica a partículas mayores de $50\mu\text{m}$, si la partícula tiene una baja densidad y tan bajas como $10\mu\text{m}$ si el material es razonablemente denso. Partículas todavía más pequeñas requerirían excesivas distancias de flujo, lo que llevaría a volúmenes excesivos de las cámaras.

Figura 3.3. CAMARA DE SEDIMENTACION POR GRAVEDAD



En la figura 3.3 se muestra una posible configuración de una cámara de sedimentación por gravedad.

Para que una cámara impida el re-arrastre de las partículas asentadas, la velocidad del gas deberá ser uniforme y relativamente baja: menor de 10 pies/seg y preferiblemente menor de 1 pie/seg.

3.4.2 Separadores Ciclónicos⁷

Son dispositivos purificadores del gas que emplean una fuerza centrífuga generada haciendo girar una corriente de gas con el fin de separar las partículas (sólidas o líquidas) del gas que las transporta. La unidad separadora puede ser una sola cámara grande, varias cámaras tubulares en paralelo o en serie o una unidad dinámica similar a un soplador.

Las unidades en paralelo suministran un aumento en la capacidad volumétrica, mientras que las unidades en serie proporcionan un aumento en la eficiencia de remoción

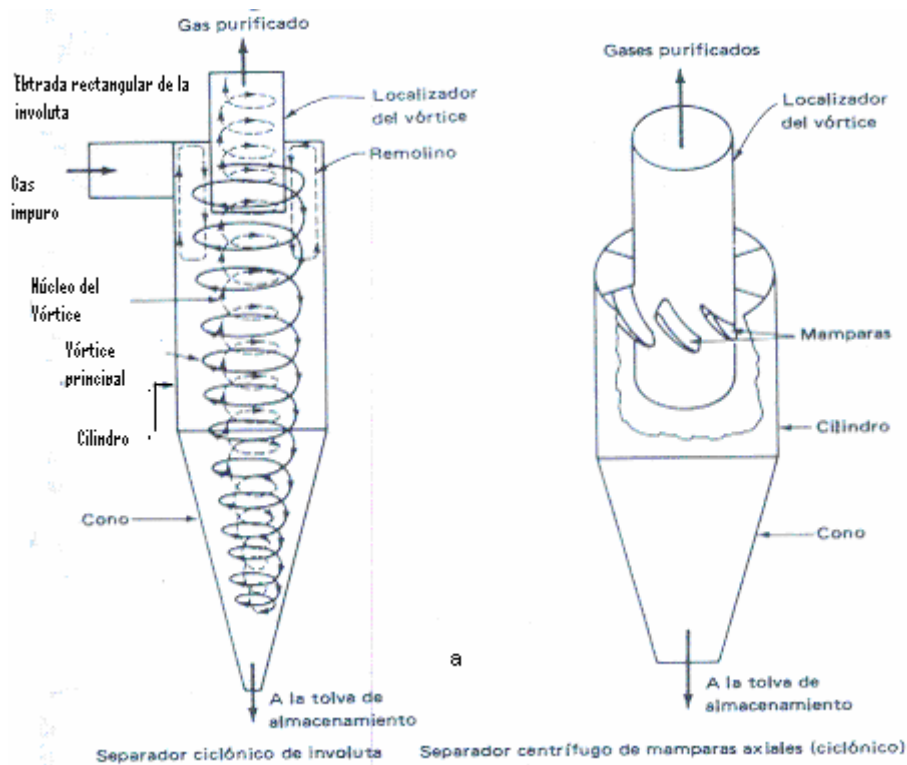
Existen dos clases principales de separadores ciclónicos:

- Los tipos de paletas axiales
- Los de involutas

La única diferencia existente entre los dos es el método de introducción del gas dentro del casco cilíndrico con el propósito de impartirle un movimiento giratorio que sea suficiente.

⁷ <http://www.monografias.com/trabajos14/ciclon-disenio/ciclon-disenio.shtml>.

Figura 3.4. SEPARADORES CICLONICOS



En la figura 3.4 se muestra un simple separador ciclónico seco, en este se obtiene el movimiento circular por medio de una entrada tangencial del gas. El pasaje de entrada de involuta rectangular tiene su pared interior tangente al cilindro y la entrada ha sido diseñada para que se incorpore gradualmente con una involuta de 180° .

Existen también, ciclones de paletas axiales; en este caso, el movimiento ciclónico se imparte por un anillo de paletas al gas impuro que desciende gradualmente.

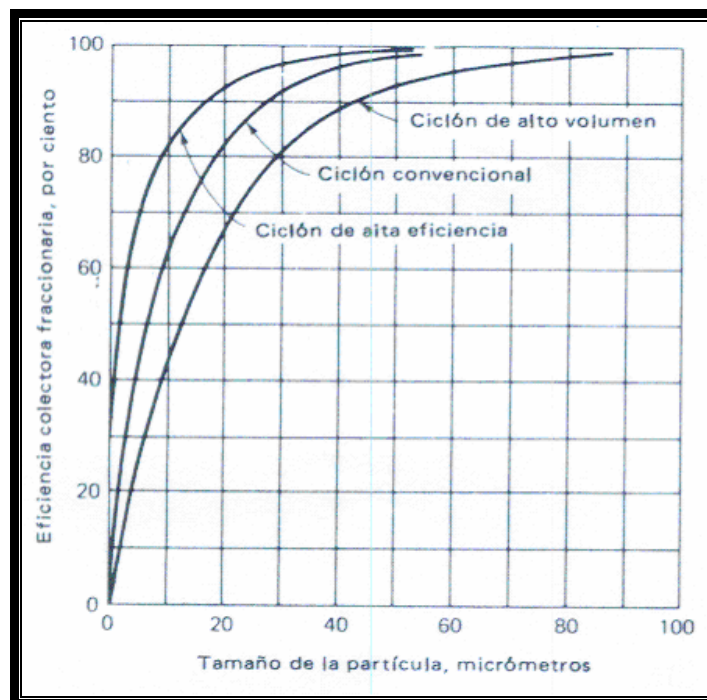
En cualquiera de los casos, la operación depende de la tendencia (inercia) de las partículas a moverse en una línea recta cuando se cambia la dirección de la corriente de gas. La fuerza centrífuga debido a una alta tasa de rotación, lanza las partículas de gas contra las paredes externas del cilindro y del cono. Las partículas resbalan por las paredes hasta llegar a la tolva de almacenamiento. El gas gradualmente purificado invierte su espiral descendente y forma una espiral de dimensiones menores. Un tubo alimentador del vórtice que se

extiende hacia abajo dentro del cilindro ayuda a dirigir el vórtice interno fuera del dispositivo.

Por lo general, el separador ciclónico se utiliza para eliminar partículas con tamaño de $10\mu\text{m}$ o mayor. Los ciclones convencionales rara vez remueven partículas con una eficiencia mayor del 90%, a menos que la partícula tenga un diámetro de $25\mu\text{m}$ o mayor.

Existen ciclones de alta eficiencia que son efectivos hasta con partículas de $5\mu\text{m}$. No importa cual sea el diseño, la eficiencia fraccionaria de remoción de cualquier ciclón cae rápidamente más allá de un cierto tamaño de partícula, lo anterior, se muestra en la figura 3.5 que muestra curvas típicas para varios equipos.

Figura 3.5. EFICIENCIA COLECTORA FRACCIONARIA COMO UNA FUNCION DEL TAMAÑO DE LA PARTICULA PARA VARIOS TIPOS DE CICLONES



Un diseño de alto volumen sacrifica la eficiencia para obtener tasas colectoras altas. Se podría utilizar como un limpiador preliminar para remover las partículas grandes antes de que el gas pase a través de otra pieza del equipo colector.

Tabla 1 Eficiencias globales representativas de los ciclones

Tamaño de partícula [μm]	Ciclones convencionales	Ciclones de alta eficiencia
<5	<50	50-80
5-20	50-80	80-95
15-50	80-95	95-99
>40	95-99	95-99

Un ciclón determinado, pueden encontrarse en más de una clase, dependiendo del tamaño de partícula que debe recogerse, y del modo de operación.

Las principales variables que afectan la eficiencia colectora fraccionaria, se pueden determinar por el modelo que se representa a continuación:

Según el gas cargado de polvo entra al ciclón gira N_e revoluciones en el vórtice principal (Ver figura 3.4) antes de entrar al vórtice interno y pasar hacia arriba con dirección a la salida del ciclón. El valor de N_e está dado como una aproximación por la fórmula:

$$N_e = \frac{1}{H} \left[L + \left(\frac{z}{2} \right) \right] \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

L es la altura del cilindro superior principal

z es la altura del cono inferior, y

H es la altura de la entrada rectangular a través de la cual entra el gas no purificado.

Se supone que las partículas están uniformemente distribuidas a la entrada del ciclón. Para que los polvos de cualquier diámetro dado, d_p , se puedan recoger con 100% de eficiencia, todas las partículas de dicho tamaño que entran en el radio interior, R_i , del ciclón, deberán ser arrojadas por la fuerza centrífuga contra la pared exterior de radio R_o , antes de que se completen las N_e revoluciones. Es de anotar, que todas las partículas de tamaño d_p que entran en algún radio intermedio, R (entre R_i y R_o) también se recogerán con 100% de

eficiencia. Para cualquier tamaño, que no se recogerá completamente en N_e revoluciones, solo se recogerán completamente aquellas partículas que se encuentren dentro de la distancia $R_o - R^*$, donde R^* es el radio mínimo con el que las partículas llegan a la pared exterior durante las N_e revoluciones, por lo tanto, la eficiencia colectora fraccionaria se puede expresar en general como

$$\eta_d = \frac{R_o - R^*}{R_o - R_i} \quad \text{Ec. 7}$$

La magnitud $(R_o - R_i)$ es también el ancho W de la entrada rectangular del ciclón. Al deducir una expresión para $R_o - R^*$, se puede obtener una ecuación para la eficiencia colectora fraccionaria. La distancia $R_o - R^*$ está directamente relacionada con el producto de multiplicar la velocidad de la partícula normal al flujo del gas por el tiempo en que el gas permanece en el vórtice exterior. La velocidad normal (Radial) se encuentra igualando las fuerzas centrífugas y la gravedad. Se supone como modelo para el movimiento de la partícula, el flujo de Stokes para una partícula esférica, el balance de fuerzas da por resultado la ecuación:

$$3\pi d_p \mu V_n = \rho_p \left(\frac{\pi d_p^3}{6} \right) \left(\frac{V_t^2}{R} \right) \quad \text{Ec. 8}$$

Donde V_n y V_t son las velocidades normal (o radial) y tangencial de la partícula. En la práctica V_t es una función de R . Con el fin de simplificar se tomará V_t como la velocidad de entrada del gas, V_g y R como un radio promedio entre R_o y R_i .

Si V_n es esencialmente constante para una partícula según se mueve hacia

fuera, se tiene entonces que $V_n = \frac{R_o - R^*}{\Delta t}$ por lo tanto:

$$R_o - R^* = \frac{\rho_p d_p^2 V_g^2 \Delta t}{18\mu R}$$

El tiempo en que una partícula permanece en el vórtice externo está dado por la ecuación:

$$\Delta t = \frac{2\pi R N_e}{V_g}$$

Donde N_e es el número de vueltas y revoluciones efectivas.

Reemplazando Δt se obtiene:

$$R_o - R^* = \frac{\pi N_e \rho_p d_p^2 V_g}{9\mu} \quad \text{Ec.9}$$

Al sustituir la expresión anterior en la ecuación 7 para la eficiencia colectora fraccionaria, se obtiene:

$$\eta_d = \frac{\pi N_e \rho_p d_p^2 V_g}{9\mu W} = \frac{\pi N_e \rho_p d_p^2 Q}{9\mu H W^2} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde Q es la tasa de flujo volumétrico.

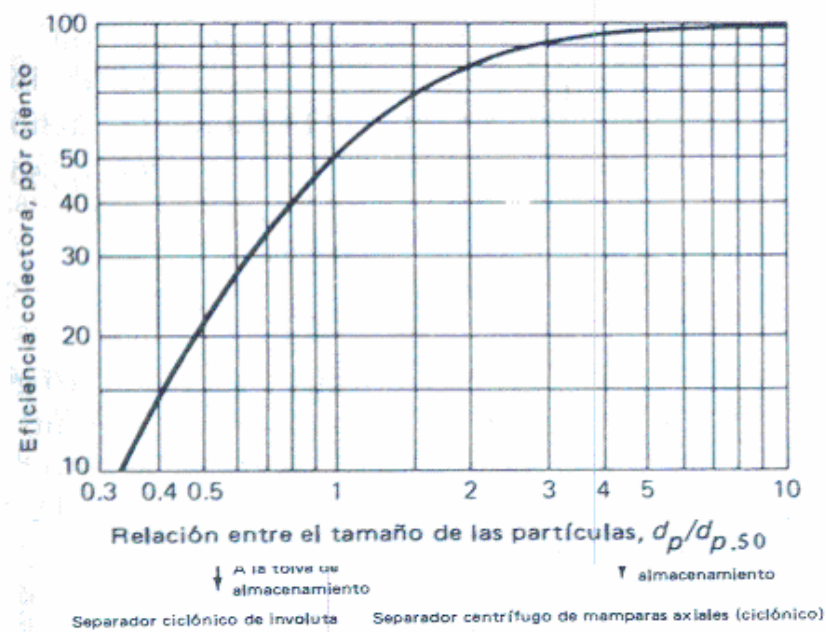
La ecuación 10 establece las variables que influyen en la eficiencia colectora.

Esta ecuación presenta una importante deficiencia; para una geometría y flujo dados η_d , más allá del cual la eficiencia es siempre 100%. Sin embargo, la experiencia muestra, que la eficiencia fraccionaria aumenta de un modo algo exponencial, con el aumento de d_p . Esto es, no existe un pronunciado corte en la curva de eficiencia. Para evitar este problema, varios autores han deducido ecuaciones (11) que relacionan el tamaño de la partícula recogida, que tiene una eficiencia del 50%, con otros parámetros de interés. Lapple (15) ha deducido una ecuación empírica para la eficiencia colectora, basándose en la ecuación 10 y en el tamaño de corte de la partícula $d_{p, 50}$. Si se hace η_d , igual a 0.5 en la ecuación precedente y se resuelve para d_p , se tiene entonces:

$$d_{p,50} = \left[\frac{9\mu W}{2\pi N_e V_g \rho_p} \right]^{1/2} = \left[\frac{9\mu W^2 H}{2\pi N_e \rho_p Q} \right]^{1/2} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde los términos han sido definidos previamente, y $d_{p, 50}$ es el tamaño de la partícula recogida con 50% de eficiencia. Las unidades de esta ecuación deben ser internamente coherentes. Lapple correlacionó datos de ciclones con proporciones similares y presentó los resultados en la curva generalizada que aparece a continuación:

Figura 3.6. EFICACIA DEL CICLON vs TAMAÑO DE PARTICULA



Esta curva se correlaciona mejor para ciclones de "proporciones normales". .

La importancia de la curva de la figura 3.6 radica en que la curva de eficiencia fraccionaria se acerca al valor del 100% de manera asintótica, más bien con el abrupto corte pronosticado por la teoría desarrollada previamente. A pesar de que la correlación de Lapple se basa en datos experimentales, algunas de las curvas de los fabricantes de ciclones muestran una eficiencia ligeramente menor que la que aparece en los trabajos de Lapple para valores de $d_p/d_{p,50}$, mayores de la unidad.

Figura 3.7. DIMENSIONES DE UN CICLÓN CONVENCIONAL

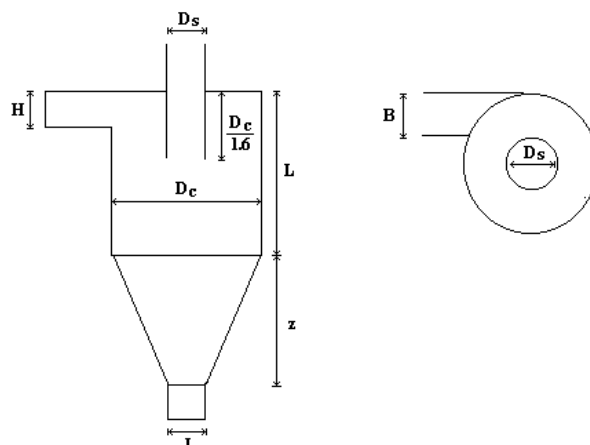


Tabla 2. Relaciones geométricas de los ciclones.

Longitud del cilindro	$L = 2D_c$
Longitud del cono	$z = 2D_c$
Altura de la entrada	$H = D_c/2$
Ancho de la entrada	$B = D_c/4$
Diámetro del cilindro de salida	$D_s = D_c/2$
Diámetro de la salida del polvo	$J = D_c/4$

3.4.3 Colectores Húmedos⁸

En los colectores húmedos se utiliza un líquido, por lo general agua, para capturar las partículas o para aumentar el tamaño de los aerosoles. En cualquiera de los dos casos, el tamaño aumentado resultante facilita la remoción del contaminante de la corriente de gas. Partículas finas, tanto líquidas como sólidas, que varían entre 0.1 y 20 μm , se pueden remover de un modo efectivo de una corriente de gas, por medio de colectores húmedos. Debe tenerse en cuenta, que el fin principal del dispositivo es la adecuada dispersión de la fase líquida a fin de obtener un buen contacto entre la fase de las partículas (o de aerosol) y la fase líquida.

Tres de los principales tipos de colectores húmedos se presentan a continuación:

1. Lavadores de cámaras de aspersion (con o sin placas de choque).
2. Lavadores ciclónicos (ciclones húmedos).
3. Lavadores Venturi.

⁸ WARK-WARNER. Contaminación del Aire. Origen y Control. Editorial Limusa. México. 2002

Las Torres empacadas podrían sumarse a la lista, sin embargo estas se utilizan principalmente para absorción de gases. En algunos casos se utilizan con el doble propósito de remover los contaminantes tanto gaseosos como partículas.

Los colectores húmedos ofrecen ciertas desventajas que no se encuentran en los equipos secos; estas se enuncian a continuación:

- Uno de los principales problemas es manipular y disponer de los lodos húmedos que son un producto inherente del proceso; sin embargo, en algunas aplicaciones, podrá ser más fácil manejar los lodos que el polvo seco.
- Si el equipo está instalado en el ambiente natural, se deberá considerar el problema de la congelación en tiempo frío.
- Un factor importante a tener en cuenta, es la corrosividad impartida por el agua hacia los materiales.
- A fin de alcanzar eficiencias altas de colección para las partículas finas, se requiere una buena dispersión de la fase líquida, y esto requiere a su vez un consumo de energía relativamente alto.

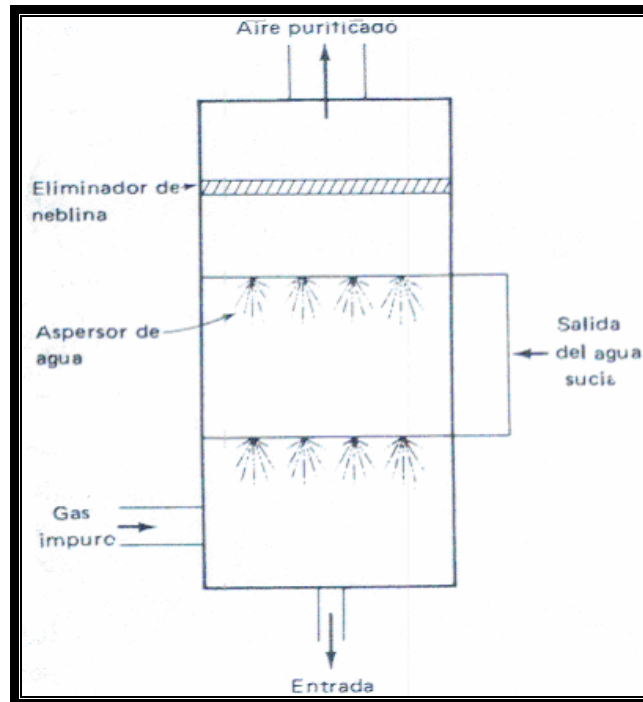
A pesar de que se pueden usar uno o más mecanismos colectores dentro de la variedad de los colectores húmedos, el principal requerimiento de cualquiera de estos dispositivos es la manera de iniciar o intercepción de una partícula con una gotita. Por lo tanto, es necesario determinar cuales propiedades de la partícula, gotas y del fluido influyen en dicho choque.

Dentro de los tipos de colectores húmedos se tienen:

- Lavadores de cámara de aspersion

Uno de los dispositivos más simples para la colección húmeda de partículas es la torre de aspersion, circular o rectangular, como se muestra en la figura 3.8.

Figura 3.8. LAVADOR DE TORRE POR ASPERSION

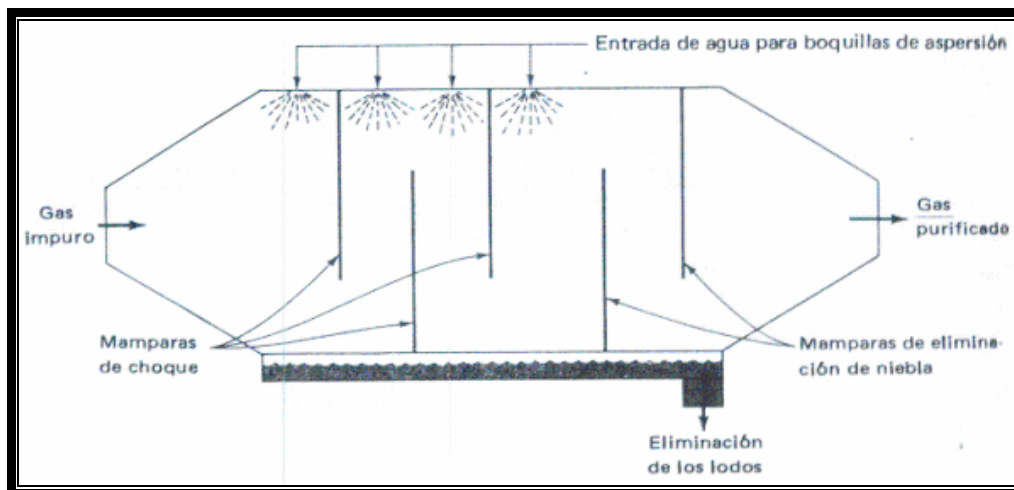


El gas contaminado fluye hacia arriba y las partículas chocan con las gotas de líquido producidas por boquillas apropiadas situadas a través del paso del flujo. Si la tasa del flujo del gas es relativamente baja, las gotas de líquido contaminado se sedimentarán por gravedad hacia el fondo de la torre. En general, se coloca un eliminador de neblina en la parte superior de la torre para eliminar tanto el exceso de gotas de agua limpia como de gotas de agua sucia, las que son muy pequeñas y por lo tanto las arrastra el flujo ascendente del gas.

En lugar del tipo de flujos opuestos, que se acaba de describir, existe un diseño alternativo del tipo de flujo cruzado; en éste, el agua se asperja desde lo alto de la cámara, y el gas contaminado fluye horizontalmente a través de la cámara. La partícula es capturada por choque de inercia o difusión, y las gotas mayores resultantes, caen al fondo por sedimentación gravitacional. En este caso también es necesario colocar algún tipo de eliminador de neblina a continuación de la sección de aspersión con el fin de eliminar las gotas que todavía no se han depositado en la superficie del agua en el fondo. Una técnica típica consiste en colocar deflectores verticales después de la sección de

aspersión. En el lavador de flujo cruzado se pueden obtener mejoras colocando deflectores verticales adicionales también en la sección de aspersión.

Figura 3.9. LAVADOR DE PLACAS DE CHOQUE HÚMEDO.



El dispositivo mostrado en la figura anterior, se conoce como lavador con deflectores húmedos de choque. También se dispone de un lavador, en forma de torre aspersora de flujo natural del tipo de placa de choque.

Un lavador de cámara genera un gasto de agua dentro del intervalo de 2 a 10 galones/minuto por cada 1000 pie³/minuto de flujo de gas. Es necesario añadir agua de reposición para surtir de nuevo la evaporada en la corriente de gas. En la mayoría de los casos es necesario recircular el agua utilizada; por lo tanto se requieren estanques de sedimentación en el área de la planta y debido a que el agua recirculada no es completamente limpia, deben utilizarse boquillas especiales o gruesas para impedir el bloqueo y la erosión de las boquillas de aspersión. En este tipo de equipos, la caída de presión es muy pequeña, usualmente del orden de 1 a 2 pulgadas de agua.

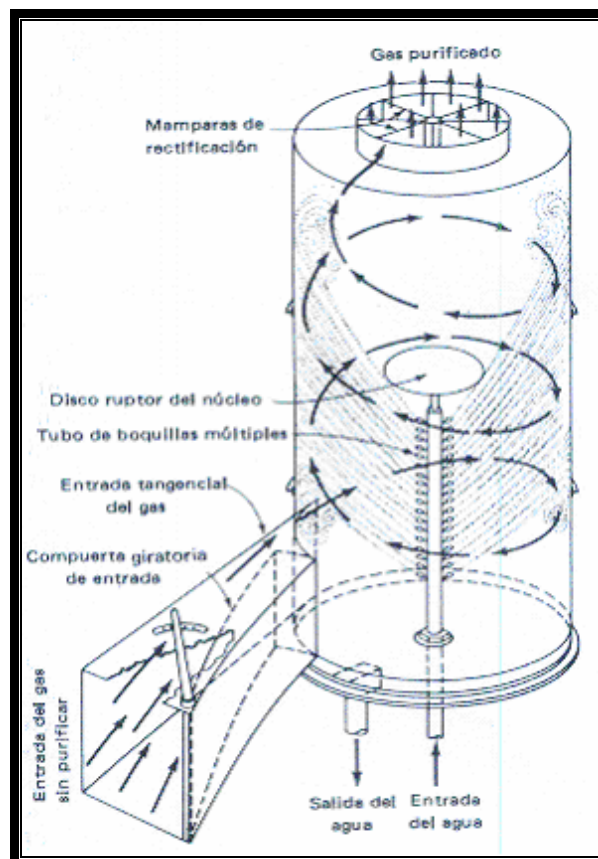
La eficiencia colectora es muy aceptable para tamaños de partículas superiores a 10 μm . La eficiencia de una torre de aspersión convencional va desde 94% para partículas de 5 μm hasta 99% para partículas de 25 μm . El uso de deflectores para incrementar el tiempo de contacto entre el gas y el líquido produce eficiencias del 97% para partículas de 5 μm o casi de 100% para

partículas de 10 μm . Empleando aspersores de niebla de alta presión pueden obtenerse eficiencias altas para tamaños de partículas de hasta 1 μm .

➤ Lavadores ciclónicos (Ciclones húmedos)

El tipo más simple de lavadores ciclónicos se obtiene insertando bancos de boquillas en forma de anillo dentro de un ciclón seco convencional. El aspersor actúa sobre las partículas en el vórtice exterior, y las partículas de líquido, cargadas de polvo son lanzadas hacia fuera contra la pared interna húmeda de la pared. La solución cargada de polvo fluye por las paredes hasta el fondo, donde es retirada. El aspersor de agua se puede colocar también a la entrada del ciclón. Usualmente se requiere de un eliminador de neblina a la salida.

Figura 10. TORRE DE ASPERSIÓN CICLÓNICA



En la figura 3.10 se observa otra versión de lavador ciclónico, en el cual el gas sucio se introduce en la parte inferior del cilindro vertical. El agua se introduce a través de una boquilla múltiple axialmente colocada, ésta lanza el agua

radialmente hacia fuera a través del flujo gaseoso en espiral. En el caso de existir suficiente altura sobre la región de aspersion, la sección superior del cilindro puede actuar como un eliminador de neblina, obviando la necesidad de un equipo adicional de eliminación de neblina a la salida.

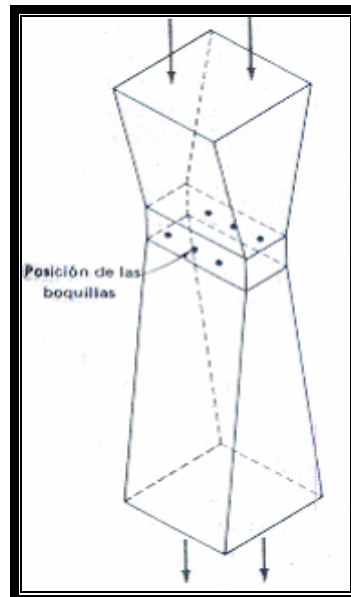
El gasto de circulación de agua en los ciclones húmedos varía de 1 a 8 gal/1000 pie³ de gas tratado. La caída de presión varía usualmente entre 1 y 4 pulgadas de agua; éste último intervalo depende de la distribución interna del equipo.

En general los ciclones húmedos tienen una eficiencia colectora del 100 % para gotas de 100 μm y mayores, alrededor de 99 % para gotas de 50 a 100 μm y de 90 a 98% para gotas entre 5 y 50 μm .

➤ Lavadores Venturi

Un Venturi es un canal de flujo rectangular o circular que converge a una garganta de sección estrecha y luego diverge nuevamente a su área original en la sección transversal. En la sección convergente, el trabajo del flujo asociado con el fluido se convierte en energía cinética con una disminución concomitante de la presión estática y un aumento en la velocidad; dicha velocidad alcanza valores de 50 a 180 m/s en la sección de la garganta. La relación de áreas entre la entrada y la garganta es típicamente de 4:1 y el ángulo de divergencia es aproximadamente de 5 a 7° con el fin de obtener una buena recuperación de la presión estática.

Figura 11. LAVADOR VENTURI DE FLUJO DESCENDENTE, CON INYECCION EN LA GARGANTA



En la figura 3.11 se muestra un lavador Venturi rectangular, vertical y descendente, con inyección en la garganta. El agua es inyectada a la corriente gaseosa de alta velocidad a través de un banco de boquillas a cada lado de la garganta. El líquido de lavado también se puede inyectar en la corriente de gas, a través ranuras o, en algunos casos vertedores situados a cada lado de la garganta del ventura. El gas a alta velocidad atomiza el líquido inyectado en la corriente de gas.

Se supone normalmente que las partículas finas entran a la garganta del Venturi con una velocidad igual a la de la corriente de gas. De igual forma, se supone que las gotas del líquido de lavado no tienen inicialmente velocidad axial, y que se aceleran a través del Venturi por el arrastre hidrodinámico de la corriente del gas. La colección de las partículas finas por las gotas del líquido se lleva a cabo por de inercia durante el tiempo en que se aceleran las gotas. A medida que la velocidad de las gotas se acerca a la del gas, y la velocidad relativa entre la partícula y la gota se acerca a 0, la probabilidad del impacto por inercia corriente abajo de la garganta disminuye rápidamente.

Las altas velocidades de entrada del gas son esenciales debido a que la eficiencia colectora por impacto aumenta con el incremento en la velocidad relativa.

3.4.4 Filtros de Tela

La filtración es uno de los métodos más antiguos y de uso más generalizado para la separación de partículas del gas que lo transporta. En general, un filtro es cualquier estructura porosa compuesta de material granular o fibroso que tiende a retener las partículas según pasa el gas que lo arrastra, a través de los espacios vacíos del filtro. Este se construye con cualquier material compatible con el gas y las partículas y se puede disponer en lechos profundos, colchones o telas.

Los filtros de colchones y lechos profundos tienen grandes espacios vacíos que llegan de 97 a 99 % del volumen total. Se utilizan para cargas de polvo muy ligeras y están diseñadas para permanecer en servicio durante largos periodos. Generalmente se limpian en el mismo sitio en el que se encuentran ubicados y a intervalos relativamente cortos. Los filtros de tela se forman generalmente dentro de tubos cilíndricos y se cuelgan en hileras múltiples para proporcionar grandes áreas superficiales para el paso del gas. Los filtros de tela tienen eficiencias de 99% o más, cuando colectan partículas de $0.5 \mu\text{m}$ y pueden remover cantidades considerables de partículas de $0.01 \mu\text{m}$. Las cargas típicas de polvo manipulados oscilan entre 0.1 g/pe^3 y 10 gr/pe^3 de gas (0.23 a 23 g/m^3).

Las telas tejidas tienen casi siempre relaciones entre el espacio de aire y el área de la tela de 1:1 a 5:1; por lo tanto, debe haber otro fenómeno distinto de la simple acción de tamiz que sea responsable de la separación inicial de las partículas. Dentro de los mecanismos importantes de filtración se tienen: impacto por inercia, intersección directa y difusión. La atracción electrostática puede tener un papel con ciertos tipos de polvos. Las partículas mayores de 1

μm se colectan principalmente por impactación o intersección directa, mientras que las partículas entre 0.001 a 1 μm se remueven principalmente por difusión y atracción electrostática.

Una de las desventajas de los filtros de tela es la necesidad de limpiarlos con frecuencia a fin de evitar caídas de presión irrazonables, de aquí resulta que el diseño básico de los filtros industriales, se basa, por lo general, en unas condiciones geométricas que se presten en una relativa facilidad de limpieza. No obstante, otra consideración geométrica debe ser la que estipule una gran área superficial por gasto volumétrico de gas contaminado. El inverso de ésta relación se conoce como la relación de aire a tela, o la relación de filtración y los valores óptimos van desde 1 a 8 pies/min (0.5 a 4 cm/s). Esta es también la velocidad superficial del gas. Un método básico que se ajusta a éstos criterios es un sistema colector basado en la casa de bolsas que se muestra en la figura 5.27.

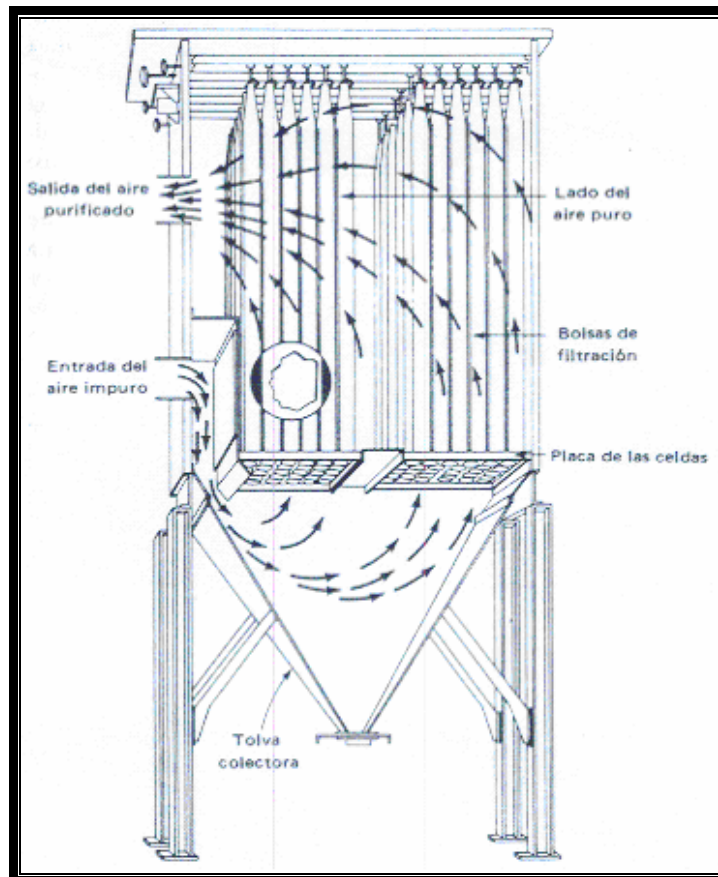
Los cilindros de tela (soportados internamente de alguna manera) con diámetros que oscilan entre 5 y 14 pulgadas y con longitudes de hasta 40 pies se disponen en hileras verticales. Será necesario utilizar muchas bolsas individuales en una casa de bolsas, cuando sea necesario limpiar grandes volúmenes de gas. Una gran casa de bolsas capaz de remover seis toneladas de polvo y vapores por hora, instalada en una gran fundición automotriz que consiste de 10 compartimientos con un total de 4.000 bolsas de dacrón que tienen un diámetro de 7.64 pulgadas y 22.5 pies de largo. Esto conduce a una inherente desventaja del diseño de las casas de bolsas, ya que el tamaño total del equipo es grande comparado con otros tipos competitivos de dispositivos de remoción.

Por lo general, el gas impuro entra en la bolsa desde abajo y pasa a través de la tela, mientras que las partículas se depositan en el interior de la bolsa.

La operación automática continua se requiere cuando no sea deseable o práctico el cierre periódico. (La operación intermitente requiere detener totalmente el proceso a fin de limpiar la tela de los filtros. El gas impuro deja de

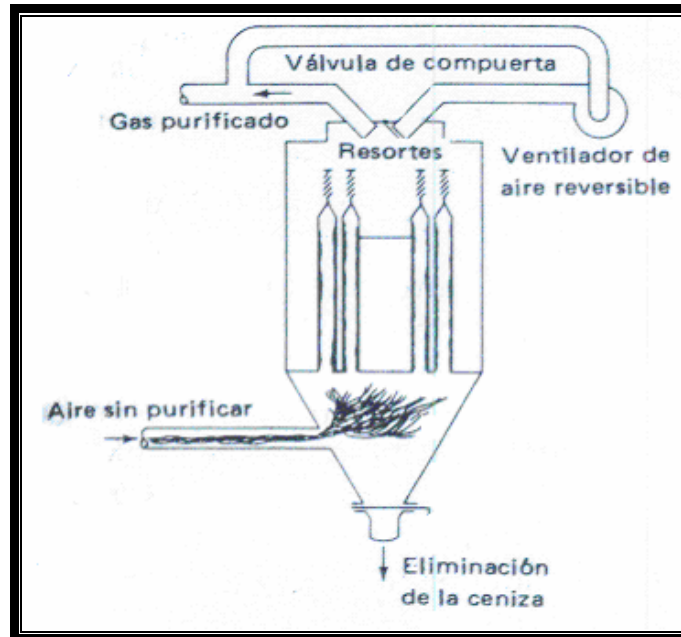
pasar por el equipo durante el ciclo de limpieza. Este tipo de diseño tiene un uso limitado, ya que son muy pocos los efluentes que se pueden descargar a la atmósfera, aun sobre una base temporal). La limpieza se realiza de varias maneras, que incluyen la vibración mecánica o sacudidas, choques de impulsos y flujo invertido del aire.

Figura 12. CASA TIPICA DE BOLSAS CON SACUDIMIENTO MECANICO



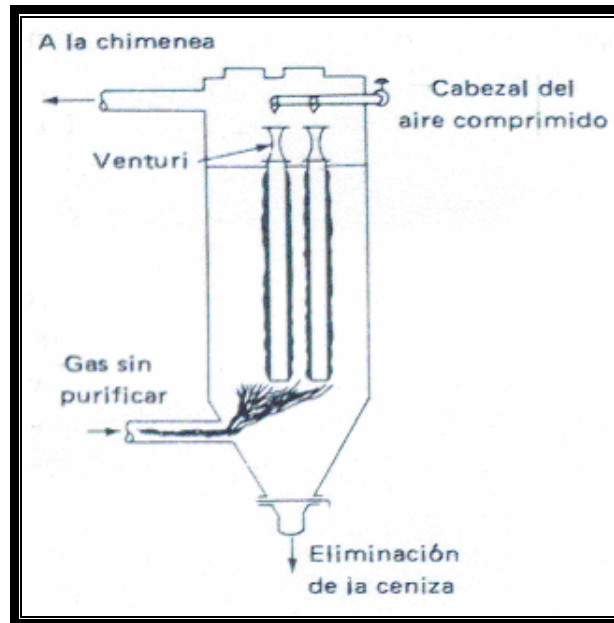
En la figura 3.12 se muestra una casa de bolsas equipada con sacudimiento mecánico. Este tipo de limpieza proporciona frecuentemente el costo más bajo por tasa de flujo volumétrico. La máxima velocidad de filtración para las casas de bolsas con sacudimiento y que utilizan telas tejidas, está dentro del rango de 2 a 3.5 pie/min (0.6 a 1.0 m/min).

Figura 13. CASA DE BOLSAS CON LIMPIEZA POR FLUJO INVERTIDO



En la figura 3.13 se muestra un sistema con flujo invertido del aire. Las partículas se recogen en el interior de la bolsa, de modo similar al método de sacudimiento mecánico. En el momento apropiado, se corta el flujo de aire contaminado al compartimiento y el aire para la limpieza fluye a través de la bolsa en la dirección opuesta. La economía de la limpieza por flujo inverso, impone el uso de bolsas con 20 pies de alto, o mayores (6-7 m). los diámetros de las bolsas se encuentran, por lo general, en el rango de 8 a 12 pulgadas (20 a 30 cm) y se recomiendan velocidades de filtración alrededor de 6 a 12 pie/min (2 a 4 m/min).

Figura 14. CASA DE BOLSAS CON LIMPIEZA POR IMPULSOS



La figura 3.14 ilustra el sistema de choques de impulso. Las partículas se acumulan en la parte exterior de las bolsas. En un instante apropiado, se dirige un corto impulso hacia abajo, a través de un ventura situado en la parte superior de la bolsa. El impulso pasa rápidamente hacia la parte inferior de la bolsa desprendiendo de la bolsa grandes capas de polvo. Estos grandes trozos de polvo se asientan por gravedad en el fondo de la casa de bolsas. Como el tiempo de limpieza de la bolsa es muy corto y solo una fracción de las bolsas se limpia cada vez, se mantiene un flujo continuo a través de la casa de bolsas. Las velocidades típicas de filtración en una casa de bolsas equipada con choques de impulso están dentro del rango de 5 a 15 pie/min (2 a 5 m/min), dependiendo de su aplicación. La altura de las bolsas en éste último caso es en general menor de 15 pies (5m), ya que el fondo de las bolsas extremadamente largas, frecuentemente no quedan bien limpias.

Se han empleado como medios filtrantes diferentes tipos de tela, dentro de los cuales se ha demostrado mediante estudios de investigación que la tela gruesa no tejida en forma de filtro, es más eficiente que la tela tejida, ya que los poros de la tela no tejida son más pequeños. Un tipo de tela puede ser más eficiente si se construye con diámetros más pequeños de la fibra, mayor peso de la fibra por área de tela y tejido más compacto; sin embargo a medida que se hace

más eficiente la tela por los medios anteriores, la permeabilidad y facilidad de limpieza se reducen.

La selección debe hacerse, empleando un término medio entre eficiencia y permeabilidad y facilidad de limpieza. En algunos casos, es preferible tener mayor permeabilidad y limpieza sacrificando un poco de eficiencia, ya que esta última se puede mejorar con el tiempo de servicio.⁹ En la tabla 3 se presentan varios tipos de telas, con las Temperaturas máximas de operación y las resistencias a los ácidos, los álcalis y la abrasión:

Tabla 3. Características de varios tipos de fibras.

Tipo de fibra	T° máxima de operación	Resistencia a los ácidos	Resistencia a los álcalis	Resistencia a la abrasión
Algodón	180°F	Pobre	Muy pobre	Muy buena
Nylon	200°F	Regular	Excelente	Excelente
Nomex (a)	425°F	De regular a buena	Muy buena	Muy buena
Acrílico (orlon)	260°F	Excelente	De regular a buena	Buena
Polipropileno	200°F	Excelente	Excelente	Excelente
Polietileno	150°F	Excelente	Excelente	Muy buena
Teflón	500°F	Excelente	Excelente	Buena
Fibra de vidrio	550°F	De regular a buena	De regular a buena	Regular
Filtron (b)	270°F	De buena a excelente	Buena	De buena a muy buena
Poliéster (dacrón)	275°F	Buena	Buena	Buena
Dynel(c)	160°F	Excelente	Excelente	Muy buena
Lana	200°F	Muy buena	Pobre	De regular a buena

La teoría de la colección mediante por inercia sobre los lechos de filtración es mucho más compleja que la simple teoría deducida para los colectores húmedos. En éste último caso es apropiado modelar como si ocurriera entre dos objetos esféricos con una cierta velocidad relativa. En el caso de la filtración por tela, el modelo inicial podría ser el de una esfera móvil que se

⁹ Información suministrada por el departamento desarrollo técnico C.I Super de Alimentos S.A. Septiembre de 2005.

acerca a un cilindro estacionario. Sin embargo una vez que se adhiere una capa inicial de polvo retenido, la geometría se hace muy complicada¹⁰.

El polvo retenido así como las fibras de la tela actúan como blancos para el depósito de las partículas adicionales. Los impactos cambian espacialmente en forma continua con el tiempo. No obstante el punto inicial razonable para un modelo de filtración sería considerar el impacto de las esferas sobre los cilindros.

Una consideración importante, es la caída de presión a través de los filtros de tela. Según se acumula la “torta” de filtro sobre la tela de soporte, se podría esperar que aumentara la eficiencia. Sin embargo, al mismo tiempo, aumenta también la resistencia al flujo. Para una tela de filtro relativamente limpia, la caída de presión es alrededor de ½ pulgada de agua (1,2 mbar) y la eficiencia de remoción es baja. Para una pérdida de tiro de 2 a 3 pulgadas de agua, después de una suficiente acumulación de la torta, la eficiencia llega al 99 %.

Cuando la caída de presión se acerca a 5 o 6 pulgadas de agua, en general es necesario limpiar el filtro de cualquier manera, a fin de reducir la caída de presión a un valor más razonable. De lo contrario, se hace excesivo el gasto de energía. La caída global de presión es la suma de la caída debida a la tela más contribuida por la capa de polvo. Se supone viscoso el flujo a través de la tela y la capa de polvo depositado. Por lo tanto, la caída de Presión tanto para la capa de polvo como para el filtro limpio se puede representar por la ecuación de Darcy, esta se presenta a continuación:

$$\frac{\Delta P}{x} = \frac{V\mu_g}{K} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

K es la permeabilidad del polvo o del filtro

V es la velocidad superficial del gas

¹⁰ WARK-WARNER. Contaminación del Aire. Origen y Control. Editorial Limusa. México. 2002

x es la profundidad del lecho de partículas o del espesor del filtro.

La caída total de presión P_o , es igual a la suma de la Presión a través de la tela del filtro y a través del depósito de partículas. Esto puede escribirse en términos de la ecuación de Darcy, como se presenta a continuación:

$$\Delta P_o = \Delta P_f + \Delta P_p = \frac{x_f \mu_g V}{K_f} + \frac{x_p \mu_g V}{K_p} \quad \text{Ec.13}$$

En la ecuación anterior, los subíndices f y p se refieren a la tela limpia y a la capa de partículas o polvo, respectivamente.

La caída de presión de la tela, ΔP , debe ser constante para un material y polvo dados. Por lo tanto, la caída total de presión depende primero de la variación de ΔP de acuerdo a la acumulación de la capa de polvo sobre la tela limpia. Para condiciones dadas de operación (viscosidad y velocidad superficial del gas, ΔP_p , es primero una función de la permeabilidad del polvo K , y del espesor de la capa de polvo x_p . El espesor de la capa de polvo es una función directa del tiempo de operación, t .

Es posible desarrollar una expresión para la variación de ΔP_p (caída de presión de la capa de polvo con el tiempo, con base en los primeros principios. Esto se lleva a cabo teniendo en cuenta que la masa de polvo recogida en el tiempo t (después de la puesta en marcha) equivale al gasto volumétrico del gas multiplicado por el intervalo y por la masa de polvo en la corriente del gas, por volumen unitario L_d . Sin embargo, la masa acumulada equivale también a la densidad de la partícula ρ_c , sobre la superficie del filtro multiplicada por el volumen de polvo recolectado en el tiempo t . Igualando estas dos magnitudes, se obtiene la siguiente expresión:

$$\text{masa colectada} = (VA)(t)(L_d) = \rho_c (Ax_p) \quad \text{Ec.14}$$

Donde:

A: área de la sección transversal del filtro.

V: velocidad del gas normal al filtro.

L_d : carga de polvo.

En la ecuación 14 se observa que:

$x_p = \frac{VL_d t}{\rho_c}$, por lo tanto, la caída de presión a través del polvo recién depositado

es:

$$\Delta P_p = \frac{x_p \mu_g V}{K_p} = \frac{VL_d t}{\rho_c} \left(\frac{\mu_g V}{K_p} \right) = \frac{V^2 L_d t \mu_g}{K_p \rho_c} \quad \text{Ec. 15}$$

μ_g , ρ_c y K_p , son valores únicos de la corriente de gas y de las partículas dadas, estas se agrupan en un parámetro de resistencia R_p , resultando:

$$R_p = \frac{\mu_g}{\rho_c K_p} \quad \text{Ec. 16}$$

La ecuación 5.86, puede ser simplificada de la siguiente forma:

$$\Delta P_p = R_p V^2 L_d t \quad \text{Ec.17}$$

En la ecuación anterior se toman L_d y V constantes durante el ciclo de filtración.

Para las características dadas del gas y la permeabilidad de la torta de filtro, se observa que la caída de presión a través de las partículas depositadas varía linealmente con la carga de polvo en la corriente del gas, y también con el tiempo; al igual que varía con el cuadrado de la velocidad superficial del gas.

En la práctica, la caída de presión varía más como una función exponencial de la velocidad de filtración que como una función cuadrática.

El arrastre del filtro S , es la relación entre la caída de presión ΔP_p de las partículas y la velocidad superficial del gas, V .

S se expresa generalmente en unidades de pulgada de agua/pie/min.

A continuación, se hará deducción de una expresión para S en términos de la masa de polvo acumulado en el tiempo t por unidad de área normal a la dirección del flujo de gas, W .

La ecuación 17 puede escribirse para el arrastre del filtro de la siguiente forma:

$$S = \frac{\Delta P_p}{V} = R_p V L_d t \text{ y teniendo en cuenta la ecuación 14, el valor de } W, \text{ puede}$$

expresarse de la siguiente forma:

$$W = \frac{\text{masa colectada}}{A} = \frac{V A t L_d}{A} = V L_d t \quad \text{Ec 18}$$

Finalmente se obtiene una expresión para el arrastre del filtro, esta se presenta a continuación:

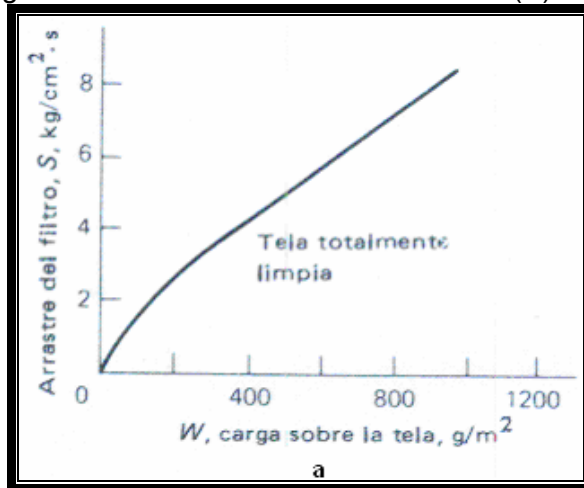
$$S = R_p W \quad \text{Ec 19}$$

Las unidades de W están dadas en g/m^2 .

Para condiciones específicas de flujo de gas y características de las partículas, la ecuación 19, indica que el arrastre del filtro varía linealmente con W ; sin embargo, en la realidad, se asemeja más a la curva de la figura 3.15.a.

Figura 3.15. CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DE U FILTRO DE TELA EN FUNCION DE S Y W

Figura 3.15.a. ARRASTRE DEL FILTRO (S) vs W

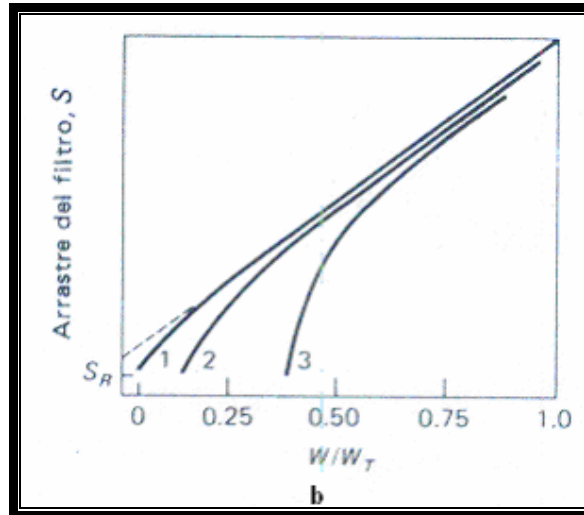


En la parte inicial no lineal de la curva presentada en la figura, se está formando una nueva torta de filtro sobre una tela de filtro limpia; por lo tanto, la superficie de la capa de polvo es bastante irregular durante un período inicial, y la resistencia al flujo aumenta rápidamente hasta que se llenan las regiones no homogéneas de la capa de polvo. Una vez se haya formado una capa de lecho

bastante uniforme, el arrastre del filtro variará linealmente con la densidad el área, W .

Al iniciar los ciclo de limpieza, la posición de la curva de arrastre es normalmente muy diferente a la mostrada en la figura 3.15.a

Figura 3.15.b. ARRASTRE DEL FILTRO (S) vs W/W_T



La figura 3.15.b muestra varias posibilidades:

Curva 1: Esta representa la situación cuando se presenta la máxima limpieza posible. Como algún polvo se queda sobre la tela del filtro después de la limpieza, existe un arrastre residual S_R .

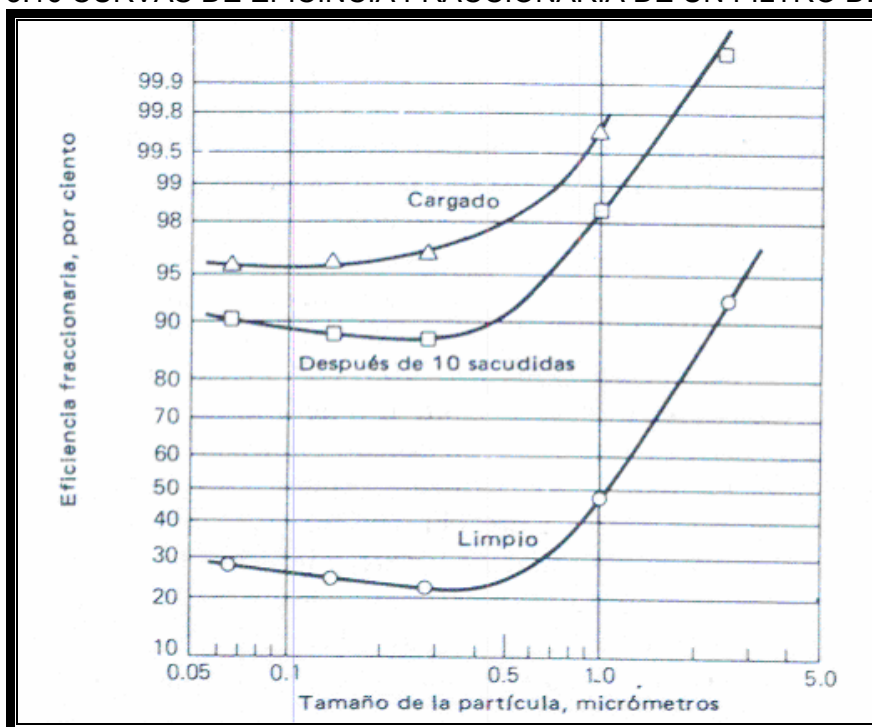
Curva 2: Esta representa la limpieza altamente eficiente de una tela tejida, donde la carga residual sobre la tela puede ser del 5 al 10% de la carga terminal. El valor de W después de la limpieza podría ser alrededor de 20 a 50g/m^2 . En telas tejidas, el valor de W_T al final del ciclo puede alcanzar 750 a 1000g/m^2 .

Curva 3: En esta curva se observa un intervalo promedio de limpieza para el sacudimiento mecánico, donde una fracción considerable de polvo se ha quedado en la superficie del filtro. La posición actual de la curva de

funcionamiento depende del tipo de tela utilizado, así como del método de remoción. La permeabilidad del polvo depositado puede determinarse por mediciones de este tipo. Para una tela limpia con un mínimo de polvo retenido, los valores del arrastre residual S_R varían típicamente de 0.2 a 0.8 pulgadas de agua/pie/min.

Debido a que el polvo recogido en una tela de filtro actúa como medio filtrante, la eliminación de la capa de polvo durante la limpieza afecta la eficiencia colectora. Esto se observa en la figura 3.16 donde se traza la eficiencia fraccionaria contra el tamaño de la partícula para un filtro de tela típico en un estado de limpieza y de carga.

Figura 3.16 CURVAS DE EFICENCIA FRACCIONARIA DE UN FILTRO DE TELA.



En el estado de limpieza, la eficiencia baja del 90% para tamaños entre 0.1 y 0.5 μm , pero se mantienen por encima del 98% para partículas mayores de 1 μm . Al acercarse al estado de carga, la eficiencia fraccionaria se encuentra por encima del 95% para todos los tamaños y se mantiene por encima de 99.6% para tamaños por encima de 1 μm .

En general, los filtros de tela tienen eficiencias colectoras fraccionarias de 90% y mayores después de varios ciclos de limpieza, y la eficiencia total, excede usualmente un 99%.

Dentro de las ventajas de los filtros de tela, se tienen:

- Amplia eficiencia colectoras sobre un intervalo amplio de tamaños de partículas.
- Extrema flexibilidad de diseño, proporcionada por la disponibilidad de varios métodos de limpieza y métodos filtrantes.
- Capacidad volumétrica en una sola instalación.
- Caídas de presión y requerimientos de energía razonables.
- Capacidad para manejar una diversidad de materiales sólidos.

Dentro de las desventajas de los filtros de tela se tienen:

- Factores espaciales podrán prohibir la consideración de casas de bolsas.
- Posibilidad de explosión por la presencia de chispas en la cercanía de una casa de bolsas.
- Generalmente, no es posible manejar materiales higroscópicos, debido a los problemas con la limpieza de las telas. Este aspecto, limita la naturaleza de una corriente gaseosa que se pueda limpiar con el uso de un filtro de tela; además las partículas húmedas se pueden aglomerar sobre la tela del filtr, cuando se trata de manejar con el equipo gases de escape que están a Temperaturas cercanas a su punto de rocío.
- Limitada utilidad con respecto a las corrientes de gas que contengan materiales cáusticos.

Los filtros de tela, son competitivos con los lavadores de alta energía y los precipitadores electrostáticos, en términos de la obtención del control efectivo de partículas sólidas, especialmente con polvos finos.

El costo inicial de un filtro de tela es probablemente más alto que el de un lavador venturi, pero los costos de operación son más favorables en el filtro de tela.

3.4.5 Precipitadores Electrostáticos

La colección de partículas y aerosoles mediante la precipitación electrostática se basa en la mutua atracción entre las partículas con una carga eléctrica y un electrodo colector de polaridad opuesta.

El aire contaminado con material particulado entra al equipo y pasa primero a través de los electrodos de descarga donde las partículas suspendidas reciben una carga cuando atraviesan el campo ionizado. Esta interacción entre el campo y la carga hace que las partículas sean atraídas luego por los electrodos de colección que son de polaridad opuesta, y se adhieren a ellos. Al ponerse en contacto con las superficies de colección, las partículas pierden su carga eléctrica y pueden ser removidas fácilmente por vibración, por lavado o por gravedad.

Los electrodos de descarga son de área transversal pequeña, generalmente en forma de alambres y los electrodos de colección tienen superficies grandes, en forma de placas¹¹.

Dentro de las ventajas de los precipitadores electrostáticos están:

- Capacidad para manipular grandes volúmenes de gas
- Altas eficiencias colectoras, aun para partículas de tamaño de los submicrones.
- Bajo consumo de energía
- Bajas pérdidas de tiro

¹¹ Información suministrada por el departamento desarrollo técnico C.I Super de Alimentos S.A. Septiembre de 2005.

- Capacidad para operar con gases a Temperaturas relativamente altas.

Se han construido precipitadores electrostáticos para gastos volumétricos desde 100 a 4000000pie³/min, los cuales son utilizados para remover partículas entre 0.05 y 200μm.

En la mayoría de los casos, la eficiencia colectora oscila entre 80 y 99%, sin embargo, debido a la exigente normatividad sobre contaminación de aire, se han hecho más frecuentes eficiencias del 99.5-99.9%.

La caída de presión, por lo general es muy pequeña, esta se encuentra dentro del rango de 0.1 a 0.5 pulgadas de agua.

Las Temperaturas y presiones de los gases pueden ser de 920K y 10bares respectivamente.

TIPOS DE PRECIPITADORES¹¹:

- Precipitadores de placas: este tipo de precipitador, es el de mayor uso industrial, están diseñados para velocidades del gas entre 100 a 600pie/min. Consisten en placas paralelas espaciadas de 8 a 10 pulgadas entre una y otra y con alturas hasta de 40 pies en precipitadores muy grandes. La eficiencia de colección puede variar cuando no hay distribución uniforme del aire que entra al precipitador. Estos precipitadores son capaces de limpiar grandes volúmenes de aire contaminado a Temperaturas de 1000°F.
- Precipitadores tubulares: El equipo consiste en tubos verticales a través de los cuales fluye el aire en dirección hacia arriba. En el centro de cada tubo está el electrodo de descarga. El material retenido se deposita en la pared interior de cada tubo y cuando se lava la pared con una película líquida delgada, se escapa muy poco material del captado. Su aplicación, se

encuentra restringida a situaciones donde se manejan materiales adhesivos, radioactivos o extremadamente tóxicos y también cuando el aire debe ser procesado a presiones que requieran la construcción del recipiente a presión.

Generalmente, el volumen tratado es mucho menor que el del precipitador de placas

3.5 Características que deben tener los equipos de remoción de aire.

- La concentración de polvo en la corriente de aire limpio, debe estar por debajo de los límites permisibles
- La eficiencia de la limpieza debe permanecer constante durante todo el ciclo de operación y debe ser independiente de la tasa de flujo y de concentración de polvo que entra al sistema
- El mantenimiento normal y la disposición periódica del contaminante recogido no deben ocasionar riesgo alguno para los operarios.
- Debe cumplir con los requisitos de durabilidad, bajo costo, mantenimiento y espacio a ocupar mínimo.

3.5.1 Comparación de los equipos de control de partículas

Cumplir con las normas de emisión, requiere tener en cuenta muchas variables de operación específicas del equipo de control de partículas. A continuación, se presenta una tabla en la cual se muestran las situaciones en las cuales cada uno de ellos es más efectivo:

Tabla 4. Comparación entre equipos colectores de partículas.

Equipo de control de partículas	Se usan:
CICLONES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Polvo grueso ➤ Concentraciones bastante altas (>1g/pe³) ➤ Se desea clasificar las partículas ➤ No se requiere una eficiencia muy alta
LAVADORES HUMEDOS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Deben eliminarse partículas finas a una eficiencia relativamente alta ➤ Sea deseable el enfriamiento y no sea indeseable la humedad ➤ Los gases sean combustibles ➤ Sea necesario eliminar los contaminantes (gaseosos o partículas)
FILTROS DE TELA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se requieren eficiencias muy altas ➤ Se van a coleccionar materiales secos de valor comercial ➤ El gas está siempre por encima del punto de rocío ➤ Los volúmenes son razonablemente bajos ➤ Temperaturas relativamente bajas
PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se requieren eficiencias muy altas para la eliminación de polvos finos ➤ Se deben manejar volúmenes de gas ➤ Es necesario recuperar materiales valiosos sin modificaciones físicas

3.6 CONTAMINACIÓN POR RUIDO¹²

El ruido es el contaminante ambiental más extendido de la modernidad. Los procesos industriales se reconocen como importantes focos generadores de este agresor físico. En la mayoría de los ambientes de planta se emiten ruidos excesivos que comprometen directamente la salud y la seguridad del personal que labora en los puestos de trabajo. En ocasiones también afecta la comunidad aledaña y la biodiversidad del entorno. Por tales razones se impone la toma de medidas que mitiguen esta situación. EL mantenimiento es entonces la medida, que influye activamente sobre la minimización del ruido.

EL control pasivo del ruido, es una de las formas de enfrentamiento a este fenómeno. Está compuesto de todas aquellas acciones que están enfocadas en la disminución de la contaminación sonora. El control activo de ruido, a

¹² <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/biblio/rusegind.pdf>

diferencia es la transformación favorable del campo sonoro empleando medios electroacústicos. La estrategia de control pasivo puede incluir innovaciones en las fuentes acústicas que disminuyan su potencia sonora. Este trabajo realiza una integración de elementos, que debidamente combinados, resultan efectivos para disminuir las emisiones de ruido y mejorar la seguridad del personal cuando este se encuentra laborando en ambientes acústicamente agresivos.

3.6.1 Efectos Significativos del Ruido.

El ruido interfiere con la comunicación, provoca trastornos en el sueño, en la presión y composición química de la sangre, en el funcionamiento cardíaco, en el desarrollo fetal y en los órganos de la fonación. También propicia la pérdida de la atención y la disminución del rendimiento en el trabajo. Además es causa de estrés y por consiguiente disminución del sistema defensivo del organismo humano.

Los entornos sociales son importantes emisores de niveles sonoros excesivos debido a la gran cantidad de fuentes generadoras de ruido que poseen. Por tal razón es cuestionable que el mantenimiento de la planta tiene una implicación en la disminución de los niveles de ruido. Evidencia natural de un mantenimiento eficaz orientado hacia la gestión medioambiental y la eficiencia energética.

3.6.2 Mantenimiento y Ecoconcepción.

El deficiente funcionamiento de las máquinas es una de las principales causas que provocan problemas de ruido en ambientes industriales. Generalmente, la falta de conocimientos acerca de la generación y control de fenómenos acústicos, la insuficiencia en el diseño, la selección, la ubicación y el mantenimiento de las máquinas; ocasionando como efecto inmediato, el incremento de los problemas generados por el ruido.

Las máquinas incrementan sus niveles de emisión sonora cuando existe un deficiente mantenimiento. Una mala lubricación, conjuntos desalineados, rotores desbalanceados, las soldaduras y todos los defectos que generan vibraciones excesivas incrementan los niveles de ruido, asociados además a pérdidas energéticas y deficiente funcionamiento.

El mantenimiento en la industria tiende (y es una exigencia) hacia la ecoconcepción. Es decir, orienta sus objetivos a considerar la protección del medio ambiente de forma concreta. Este enfoque preventivo de los problemas medioambientales caracteriza una visión global del ciclo de vida de los procesos, productos y servicios que se prestan. La siguiente tabla muestra algunos ejemplos de sustitución de procesos por otros de menor ruido.⁹

Tabla 5. Sustitución de procesos para minimizar el ruido.

<i>Procesos de alto ruido</i>	<i>Procesos de bajo ruido</i>
Remachado por golpes	Remachado por compresión
Movimiento por aire comprimido o motor de combustión interna	Movimiento por electricidad
Corte por choques, troquelado	Corte con rayo láser
Soldadura convencional TIG/TAG	Soldadura por arco protegida TIG/TAG
Fijación por remaches	Fijación por presión
Conformación por golpes	Prensado hidráulico
Soldadura por puntos	Soldadura continua

3.6.3 Programa de Control de Ruido (PCR)

El PCR tiene mucha relación el éxito con la sensibilización de los directivos y el personal de ingeniería. Se precisa de la formación técnica para enfrentar los retos, además de estar conscientes de los daños que ocasiona la contaminación por ruido.

Un programa de Control de Ruido deberá contemplar los siguientes aspectos:

⁹ ISO/TR 11688-2: 1998 Acoustic. Recommended practice for the design of low noise machinery and equipment. Part 2: Introduction to the physics of low noise design.

- La inmisión en los puestos de trabajo y la emisión de cada fuente en las condiciones de operación características.
- Si los niveles sonoros de las distintas áreas exceden los límites especificados por la legislación (o normativas) al respecto.
- Identificación de las fuentes sonoras principales y la influencia relativa sobre el campo sonoro.

Para cada área ruidosa se deben ejecutar las siguientes acciones:

- Definir los objetivos deseados (o necesarios) con relación al ruido.
- Disponer de un programa para ejecutar acciones de control para cada fuente.
- Disponer de los medios de protección adecuados (si fuera necesario).
- Determinar la reducción alcanzable (técnica y financieramente) en cada área o puesto de trabajo.
- Supervisar el cumplimiento del Programa.

3.6.4 Descriptores Principales del Ruido

La cuantificación de los niveles de ruido constituye la base para la adopción de medidas que tiendan a disminuir su efecto. Sólo pueden conocerse a profundidad los fenómenos mensurables. La presión sonora es la magnitud más fácil de cuantificar, efectuándose dicha operación generalmente, con un instrumento llamado sonómetro. La obtención de registros sonoros es la base sobre la que descansa cualquier estrategia de control de ruido. Existen varios descriptores de ruido, pero El Nivel Sonoro Continuo Equivalente (Leq) [total y por frecuencias] y la Dosis Porcentual de Ruido (D), resultan vitales para los fines de un control pasivo de ruido en situaciones industriales. Es posible trabajar en la concepción de un plan de control de ruido si se conocen los valores de emisión de ruido de las máquinas, unido a los niveles de exposición del personal.

3.6.4.1 La Dosis Porcentual de Ruido (D). Establece, con respecto a una referencia establecida por las normas o leyes de cada país, el porcentaje de energía sonora absorbida por el personal que trabaja en determinado puesto de trabajo. Este descriptor de exposición sonora puede medirse directamente con un instrumento denominado dosímetro de ruido. Es posible obtener el nivel sonoro continuo equivalente, para un tiempo determinado T, si se conoce la dosis de ruido E (medida con el dosímetro), tal y como se muestra:

3.6.4.2 Tiempo De Exposición. No sólo el nivel sonoro caracteriza un fenómeno de contaminación por ruido. Es preciso establecer cuanto tiempo es admisible tolerar determinado nivel. La fórmula siguiente permite estimar este importante factor con vistas a los programas de Protección auditiva y de seguridad operacional.

3.6.4.3 Nivel de Exposición del Personal. Cabe destacar que para niveles sonoros iguales o superiores a los 115 dBA, no se recomienda exponerse (sin protección) ni siquiera por escasos segundos.

3.6.5 Protectores Auditivos

Los protectores auditivos son dispositivos de singular importancia en el control pasivo de ruido. Ellos garantizan (cuando la selección es correcta), la atenuación necesaria que asegura la disminución de la exposición efectiva al ruido. Se requerirá el uso de protectores auditivos cuando el nivel de exposición al ruido supere los 85 dBA en 8 horas.

Es común la selección de dispositivos de protección auditiva sin considerar, seriamente, si realmente el modelo que se trabaja es capaz de asegurar la mejor protección. Es preciso realizar un estudio previo de las características del ambiente sonoro para el cual se busca el resguardo más efectivo. La determinación empírica de la atenuación real del protector se determina por el

protector (o combinación de éstos) que brinde el nivel de ruido efectivo más bajo.

3.6.6 Encapsulamientos y Pantallas

Las pantallas acústicas, generalmente se diseñan utilizando láminas de acero, madera, vidrio o plástico. Se recomienda recubrirlas con algún material absorbente por la cara que queda hacia la fuente sonora. Normalmente, pueden obtenerse reducciones del nivel sonoro, ponderado A, de hasta 10 dBA. El efecto de una pantalla es poco significativo para las frecuencias, cuya longitud de onda supere el ancho, o la altura, de la pantalla. Por tal razón, se precisa de un estudio en frecuencias antes de decidir construir un artefacto de este tipo (pese a no ser difícil su fabricación, sino se considera lo anterior, la mitigación podría resultar despreciable). Las pantallas se emplean con preferencia en la proximidad de máquinas pequeñas cuya emisión acústica sea elevada. También, para separar en un local las áreas ruidosas del resto. También para proteger a operarios que trabajan en puestos cercanos a fuentes de ruido. La eficacia de una pantalla se condiciona en gran medida a la distancia de la fuente de ruido.

Los encapsulamientos como su nombre indica, consisten en "encerrar" a la fuente sonora para reducir la propagación del ruido que emiten. De manera general, se consiguen reducciones entre 10 y 25 dBA para encapsulados de una sola capa con revestimiento absorbente. Se logran reducciones de más de 25 dBA para encapsulamientos con doble pared y revestimiento acústico absorbente. Vale agregar que la efectividad de un encapsulado, o de una pantalla, depende de la característica frecuencial de la señal sonora. Para evitar la propagación de vibraciones en los encapsulamientos es menester dotarlos de calzos antivibratorios en la base. Las puertas, registros y ventanas, previstas para las labores de mantenimiento deben ser hermetizadas cuidadosamente después de realizados los trabajos. La más pequeña ranura puede afectar sensiblemente el aislamiento, sobre todo si hay presencia de

altas frecuencias. El ejemplo que se muestra a continuación es característico de un encerramiento con doble pared y revestimiento acústico absorbente.

3.6.7 Aislamiento de Vibraciones

Todas las máquinas vibran y por tanto transmiten oscilaciones a la estructuras sobre las que descansan (pisos, paredes, tuberías...). Una parte del ruido estructural se convierte, por radiación, en ruido aéreo. De manera que el correcto aislamiento de las vibraciones es una forma de atenuar los niveles de ruido, que es capaz de generar una máquina.

Con el aislamiento se pretende impedir que las vibraciones de una máquina pasen al suelo (y se propaguen), o visto desde otro punto, evitar que las vibraciones de otros equipos no se transmitan a alguna máquina sensible. El aislamiento es más efectivo cuando la estructura sobre la que descansa la máquina (y a la cual se quiere evitar pasen las vibraciones), tiene suficiente masa y rigidez, para evitar, en un caso, las resonancias, y en otro las deformaciones indeseables.

Generalmente, para reducir la transmisión de vibraciones de la máquina a la base (o viceversa). Se pueden aplicar las siguientes acciones:

- Montaje de la máquina sobre calzos antivibratorios (ello implica el cálculo y selección de dichos calzos).
- Preparación de una base adecuada en cuanto a masa y rigidez.
- Utilizar juntas flexibles en los sistemas de tuberías, siempre que sea posible.

La figura 3.17, muestra el grado de transmisión de las vibraciones de un equipo con relación a la frecuencia de excitación f (a aislar) y la frecuencia natural del sistema f_0 (inherente a la máquina), empleando calzos con diferente amortiguación.

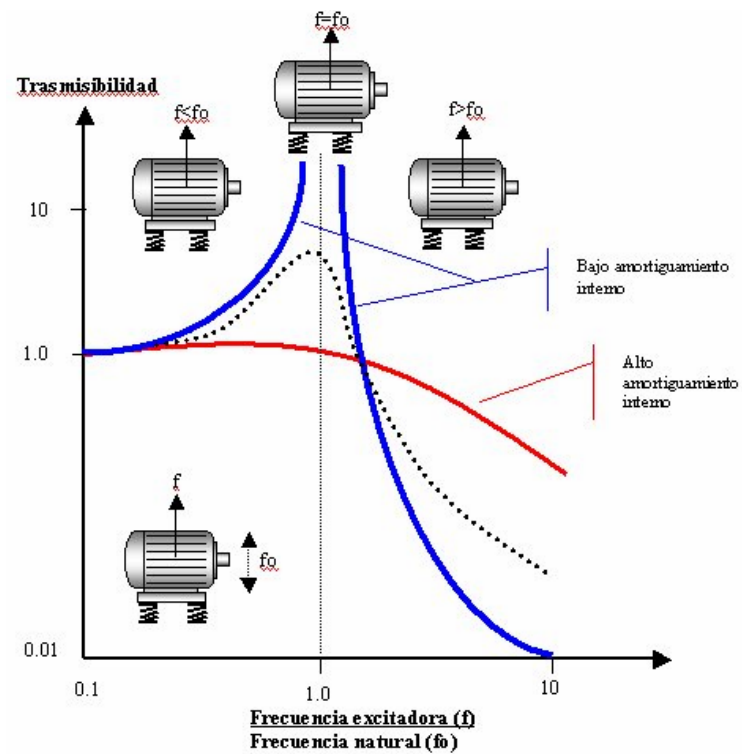


FIGURA 3.17 TRASMISIBILIDAD DE LAS VIBRACIONES SEGÚN EL MATERIAL DE LOS CALZOS Y LA FRECUENCIA A AISLAR.

4. DIAGNÓSTICO

4.1 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA¹⁴

Tabla 6.

Nombre o razón social	Comercializadora Cafetera de Occidente Ltda.
NIT	810.001.402-0
Dirección	Cra 5 No. 6 – 34
Teléfono	8503545 - 8506516
Fax	8503191
Matricula Mercantil	11042 Junio 25 de 1997
Matricula Mercantil	11732 Marzo 31 de 1999
E-mail	
Representante legal o propietario	Helena Maya Alvarez Alberto Cárdenas Olaya
Cédula de Ciudadanía	32.509.981 6.462.576
Ciudad o Municipio	Chinchiná (Caldas)

4.2 INFORMACIÓN DEL PREDIO^{xxx}

4.2.1 Datos generales

Tabla 7

Dueño del predio	Nayib Jozame Taleb
Nombre del predio	Bodega
Ficha catastral	01.00.00290006
Area total del predio [m ²]	1816,15
Altura sobre el nivel del mar [m]	1378

4.2.2 Ubicación

Tabla 8

Departamento	Municipio	Vereda	Corregimiento
Caldas	Chinchiná	Zona urbana	

4.2.3 Usos del suelo

Tabla 9

Certificado de uso del suelo No.	85
Fecha de expedición	Diciembre 05 de 1995
Uso aprobado	Comercial-Industrial I y II
Ubicación del predio	Cra 5 No. 6 – 34
Predio No.	ND
Propietario	Nayib Jozame Taleb

4.2.4 Aspectos socioeconómicos

¹⁴ Información suministrada por la trilladora San Mateo. Septiembre de 2005

4.2.4.1 Asentamientos o viviendas cercanas a la empresa

Tabla 10

Nombre del barrio	Puerto nuevo
Número de viviendas cercanas	20
Distancia [m]	Contiguo a la trilladora

4.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA¹⁵

4.3.1 Climatología

Tabla 11

REGISTROS CLIMÁTICOS ANUALES PROMEDIO	
Temperatura [C]	21,2
Humedad [%]	78
Precipitación [mm]	1678,4*
Evaporación	ND
Nubosidad	ND
Brillo [horas]	1758**

Estación Cenicafé Chinchiná.

* Valor total anual de precipitación con una probabilidad del 80%.

** Valor total anual de brillo solar.

4.4 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

La Trilladora San Mateo nació a la vida jurídica desde el año de 1.997 y que ha venido participando en el mercado del beneficio y comercialización de materia prima para la industria nacional. Esta Trilladora cuenta con un montaje flexible tecnológicamente para prestar así un servicio de trilla para excelsos de exportación tales como: Supremo, Europa y UGQ.

4.4.1 Localización

La Trilladora San Mateo se encuentra ubicada en el Municipio de Chinchiná Caldas, ciudad cafetera por excelencia, localizada al sur del departamento de

¹⁵ Estación CENICAFE. Río Chinchiná

<http://acad.ucaldas.edu.co/jcg/fitotecnia/boletin/18/EL%20CLIMA%20DE%20LA%20ZONA%20CAFETERA%20DEL%20DEPARTAMENTO%20DE%20CALDAS.htm>

Caldas, sobre la Zona Andina, su economía depende en su mayoría del movimiento cafetero combinada con la diversificación de otros productos agrícolas.

Este Municipio cuenta con una situación geográfica privilegiada, acentuada por el nuevo desarrollo vial que se está adelantando. La estratégica ubicación en medio del triángulo Bogotá – Medellín – Cali, le permite ser una ciudad con grandes perspectivas en cuanto a desarrollo social, cultural, económico y turístico.

Cabe anotar que la estratégica ubicación con que cuenta Chinchiná, permite un fácil acceso por las diferentes vías, además grandes proyectos tocan esta región encaminada a más desarrollo en cuanto a transporte, como lo es la rehabilitación de la Red Férrea; esta obra se extenderá desde Buenaventura – Buga – Cartago – La Felisa – caserío de la Merced (Caldas) ubicado a 50 Km aproximadamente del municipio de Chinchiná; Uno de los puntos de interés para los empresarios de Caldas tiene que ver con las estaciones intermedias que se construirán, ya que se espera que una de ellas sea en el Km 41 (partiendo desde Manizales – Caldas).

4.4.2 Distribución de las áreas por actividad

La Trilladora San Mateo cuenta con amplias instalaciones para prestar servicios de compra, venta y beneficios de café pergaminos, pasillas y trillados.

Se cuenta con las siguientes áreas para la distribución de bodegas, oficinas y maquinarias:

Tabla12.

Actividad	Área [m²]
Piso 1(trilla, selección,)	1562,85
Piso 2	168,70
Bodegas	1731,55
Cisquera	84,60
Total trilladora	1816,15

La distribución de las áreas es la siguiente:

4.4.2.1 Area de acceso principal. En el primer piso se cuenta con un amplio acceso que permite la cómoda entrada de los vehículos hasta las instalaciones de descargue y la bodega que cuenta con las especificaciones de capacidad de producción de la trilladora para el debido almacenamiento de pergaminos, subproductos y excelsos. Optimizando el área destinada para excelsos se podrán almacenar entre 5.000 y 6.000 sacos/s; igualmente se calcula que el área destinada para almacenar café pergamino incluido el silo metálico existente, es de unos 17.500 s/s por 40 kilos cada uno aproximadamente.

4.4.2.2 Area de oficinas. En esta parte también se ubican las primeras instalaciones de oficinas: Gerencia, Sala de Reuniones Gerencia, Secretaría y Recepción con su respectivo servicio privado.

4.4.2.3 Area de compras – comedor. Seguidamente se encuentra la Oficina de compras también con su respectivo servicio privado y por último el comedor.

4.4.2.4 Area de acceso segundo piso. Continuando con el recorrido, se encuentra el acceso al segundo piso y seguidamente el área del taller y de aseo para los empleados.

4.4.2.5 Area de laboratorios. En este segundo piso se encuentran amplios espacios donde se ubican los laboratorios de catación y análisis de café, como también un área donde se puede adecuar una oficina.

4.4.2.6 Area de maquinaria. En el primer piso, en el área de bodega al finalizar el acceso principal, se encuentra la Báscula Electromecánica que cuenta con una capacidad de peso de 5 toneladas.

En su totalidad todos los equipos cuentan con las especificaciones de clasificación, limpieza, trilla y beneficio del café necesarias para producir un café de primera calidad, con los cuales se tiene una capacidad de producción por día en Excelsos de 650 sacos antes de la clasificación manual o electrónica. Utilizando las 5 bandas de selección manual con que se cuenta, se obtienen aproximadamente 500 sacos por día.

Se tiene proyectado la construcción de un mezanine sobre las 5 mesas de selección para la ubicación de equipo electrónico de clasificación, utilizando las bandas como medio de transporte hacia las tolvas de mezcla y ensaque de excelsos, quedando abierta la posibilidad de utilizar mano de obra en la selección de cafés con una norma especial (8 - 35) (3 – 20) o con alto contenido de broca.

En el anexo I se presentan los planos de la trilladora

4.4.3 Descripción de las actividades desarrolladas en el predio

Tabla 13.

<i>Tipo De Actividad</i>	<i>Cantidad [Sacos de café]</i>
Compra de café pergamino	2860
Compra de pasillas	140
Venta de café trillado excelso	2285

- un saco de café equivale a 70 Kg.
- Datos de un mes de cosecha

4.4.3.1 Actividades desarrolladas en la trilladora, capacidad instalada, utilizada y proyectada de las instalaciones

Tabla 14

<i>Tipo de Actividad</i>	<i>Zona</i>	<i>Capacidad</i>	
		<i>Utilizada</i>	<i>Proyectada</i>
Almacenamiento de café pergamino, pasilla y café excelsa	1	50%	NA
Zona de trilla	2	100%	NA
Zona de selección	3	100%	NA
Área administrativa	4	50%	NA
Laboratorio	5	100%	NA
Talleres	6	100%	NA
Cisquera	7	100%	NA

*no se tiene ningún área proyectada porque en la actualidad se cuenta con muy buen espacio

4.4.4 Características de la estructura de la planta

Tabla 15

<i>Componentes estructura</i>	<i>Tipo/Materiales</i>	<i>Zona</i>						
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Paredes	Ladrillo							
	Bloque	X	X	X	X	X	X	X
	Madera							
	Guadua							
	Malla (angeo)							
	Otros							
Cubiertas	Zinc							
	Eternit (asbesto-cemento)	X						
	Aluminio							
	Otros (Caucho lona)			X				
Pisos	Cemento	X						
	Tierra							
	Ambos							
	Otros (Baldosas)				X	X		
Cerchas	Madera				X	X		
	Metálicas	X	X	X			X	X
	Otros							
Ventilación	Malla							
	Angeo							
	Otros (persianas en concreto prefabricado)	X	X	X				
Luz	Plásticos							
	Tela							
	Otro (marquesinas de vidrio)	X	X	X				

4.4.4.1 Tipos y características de los equipos con los que cuenta la empresa

Tabla 16

Cant.	Equipo y descripción	Capacidad
1	Elevador de pergamino de 9 m de altura	15000 Kg /h
1	Silo almacenamiento: (3 compartimentos).	100.000 Kg de café pergamino
1	Banda de alimentación	8.000 Kg/h
1	Banda de ensaque	8.000 Kg de café pergamino/h
1	Elevador de pergamino de 7 m de altura	8.000 Kg/h
1	Monitor de pergamino	6.000 Kg/h
1	Elevador de pergamino de 6 m de altura	7.000 Kg/h
1	Máquina trilladora Apolo No 4	6.000 Kg de café pergamino/h
1	Elevador de retrilla de 4,5 m	6.000 Kg/h
1	Elevador de trilla de 7 m	7.000 Kg/h
1	Tolva de alimentación al monitor	250 sacos de café trillado /s
1	Elevador de alimentación al monitor	8.000 Kg/h
1	Monitor de almendra	4.000 Kg/h
1	Elevador trilladora malla 18	3.000 Kg/h
1	Elevador trilladora malla 17	3.000 Kg/h
1	Elevador trilladora malla 16	3.000 Kg/h
1	Elevador trilladora malla 15	3.000 Kg/h
1	Elevador trilladora malla 14	3.000 Kg/h
1	Banda transportadora	3.000 Kg/h
1	Catadoras	3.000 Kg/h
1	Monitor mallas 13, 12 y 10	1.000 Kg/h
4	Mesa densimétrica OLIVER 160 A	3.000 Kg/h
1	Mesa densimétrica MADELCA 120A	2.000 Kg/h
1	Banda transportadora	3.000 Kg/h
12	Elevadores de almendra a las mesas densimétricas	2.000 Kg/h
1	Elevador banda transportadora de 6 m de altura	
5	Banda de selección de 10 m de largo	
5	Elevador de almendra de 7 m de altura	
6	Tolvas malla 18, 17, 16, 15,14 y recuperación	4.000 Kg/h (70 sacos/s) cada una
1	Banda transportadora de excelso	8.000 Kg/h
1	Elevador de excelso a tolva de ensaque	8.000 Kg/h
2	Tolva de ensaque	100 sacos de pasilla/s
5	Tolvas de alimentación a bandas de selección	60 sacos/s cada una
3	Ciclones	2.200 cfm de aire
3	Turbinas de succión	2.500 cfm

4.5 PRÁCTICAS DE BIOSEGURIDAD

Tabla 17

Prácticas de bioseguridad	SÍ	NO
Uso de orejeras		X
Uso de tapones auditivos	X	
Uso de caretas sin filtro	X	
Uso de careta con filtro para inorgánicos		X
Uso de uniforme		X

4.6 PLAN DE CONTINGENCIA.

4.6.1 Factores de riesgo ambiental

4.6.1.1 Escape de material particulado de los sistemas de colección debido a averías en los ductos y colmatación de la cisquera, que pueden presentar riesgo en la seguridad del personal que labora en la trilladora y la comunidad vecina frente al contacto con material particulado inhalable.

4.6.1.2 Generación permanente de ruido.

4.6.2 Áreas prioritarias de atención.

Se consideran áreas, aquellas que sean consideradas críticas frente a una emergencia, estas zonas son:

- Áreas de selección
- Área de trilla
- Cisquera

En estas zonas se debe contar con mascarillas de tela y caretas con filtro para vapores y polvo inorgánicos, orejeras y protectores auditivos, además una pequeña pipeta de oxígeno.

4.6.3 Personal y equipo requerido para afrontar las contingencias.

Dentro de la planta de personal se debe disponer de una brigada de socorro con capacidad de liderazgo y toma de decisiones frente a una emergencia, además capacitado para reparar, suspender y adecuar todos los sistemas de recolección de material particulado y en general de todo el sistema operativo de la planta.

4.7 PLAN DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO

4.7.1 Producción de polvo y de cisco

- Se llevará un registro donde se especifique la cantidad de café pergamino y pasillas que entran a la planta, café trillado, defectuoso, cisco y polvillo se obtienen con el fin de conocer cuanto material particulado se puede estar escapando a la atmósfera.

4.7.2 Control de los sistemas implementados.

- Implementar una rutina de recolección a granel del cisco y de vaciado de las lonas, con el fin de evitar el riesgo de una colmatación en la cisquera. Se deberá conocer previamente el destino de este, sin que vaya a ocasionar un impacto ambiental en el siguiente sitio de disposición.
- Las personas responsables de estas labores deberán estar dotadas de guantes, caretas y gafas de seguridad.
- Se deberá hacer un cuidadoso mantenimiento a los ventiladores, al igual que los ductos de colección de material particulado, para remediar las fugas de polvo que se presentan en el interior de la planta
- Implementar rutinas de mantenimiento, lubricación y alineación de todos los equipos con el fin de mitigar los niveles de ruido.
- Se adoptarán procesos que produzcan menores niveles de ruido.
- Se vigilará de forma permanente las condiciones de la comunidad vecina frente a la generación de ruido y emisiones de material particulado.

4.8 COSTOS Y CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN. Ver anexo X

5.DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS.

5.1 DISEÑO DE UN SISTEMA PARA LA ELIMINACIÓN DE PARTÍCULAS SÓLIDAS DE LA CORRIENTE DE AIRE QUE SALE DE LOS CICLONES SEPARADORES DE CISCO.

5.1.1 Descripción general del proceso productivo
ver ANEXO IV.

5.1.1.1 Balance de materia. El siguiente balance se realizó tomando como base un mes de cosecha:

La materia prima es el café pergamino y pasillas que entran al proceso productivo, los productos de este son café trillado excelso, café defectuoso y cisco (como material de desecho), no se consideran cambios debido a reacciones o descomposición de la almendra del café o del cisco. Se debe tener en cuenta que el 20% del café pergamino y las pasillas que entran a la operación productiva sale como cisco y polvo de menor tamaño de partícula y que el 5% del café trillado excelso es café defectuoso el cual es retirado en la zona de selección mediante un sistema de bandas, como parte final del proceso.

Balance global.

$$\text{CaféPergamino} + \text{pasillas} = \text{CaféTrilladoExcelso} + \text{cisco}$$

$$(200000 + 10000)Kg = (160000 + 42000 + 8000)Kg$$

$$210000Kg = 210000Kg$$

5.1.2 Revisión inicial del sistema actual de eliminación de partículas.

La producción del mayor volumen de polvo se da debido a: descarga del café pergamino y pasillas en la parrilla de entrada a los silos, la elevada fricción que se genera en la trilladora y en la descarga del café trillado en el monitor de almendra.

El sistema actual de eliminación de material particulado se realiza mediante tres ciclones de 2.200 cfm de aire ubicados al exterior de la planta, los cuales recolectan el polvo del interior de la planta, por medio de tres sistemas de extracción ubicados en la máquina trilladora APOLO, la tolva de almacenamiento y el monitor de almendra; estos sistemas de recolección de material particulado no tienen un sistema de canalización hermético, donde se han dispuesto costales para reducir las emisiones de polvo en el interior de la planta.

Los ciclones captan el material particulado, separando el de mayor diámetro de partícula llamado “cisco”, que es conducido a la cisquera y el polvillo con un diámetro de partícula $>>15\mu\text{m}^*$ es emitido a la atmósfera. El cisco resultante es recogido a granel por medio de una tolva y es utilizado posteriormente como combustible y abono para las mismas fincas cafeteras.

Tabla 18. comparación de las dimensiones de un ciclón convencional con las dimensiones de los ciclones de la Trilladora.

Longitud del cilindro	$L = 2D_c$
Longitud del cono	$z = 2D_c$
Altura de la entrada	$H = D_c/2$
Ancho de la entrada	$B = D_c/4$
Diámetro del cilindro de salida	$D_s = D_c/2$
Diámetro de la salida del polvo	$J = D_c/4$

* Ensayo de tamizado. Laboratorio UN noviembre 24 de 2005.

En el anexo II se muestran el registro fotográfico de la planta.

5.1.2 Diseño del sistema de colección de partículas¹⁶.

Tomando como referencia la Tabla 2.1. Valores recomendados para la velocidad de captura, presentada en el ANEXO VIII, se tiene:

$$Q_1 = 17.34 \text{ pie}^2 * 500 \text{ pie}/\text{min} = 8672.4 \text{ pie}^3/\text{min}$$

$$Q_6 = 1.34 \text{ pie}^2 * 500 \text{ pie}/\text{min} = 6.70 \text{ pie}^3/\text{min}$$

$$Q_9 = 1.34 \text{ pie}^2 * 500 \text{ pie}/\text{min} = 6.70 \text{ pie}^3/\text{min}$$

$$Q_{10} = 1.34 \text{ pie}^2 * 500 \text{ pie}/\text{min} = 6.70 \text{ pie}^3/\text{min}$$

$$Q_{13} = 1.34 \text{ pie}^2 * 500 \text{ pie}/\text{min} = 6.70 \text{ pie}^3/\text{min}$$

V_t , es igual para todos los caudales:

$$V_t = 3500 \text{ pie}/\text{min}$$

$$\text{diámetro del ducto}_1 = 22 \text{ pu lg}$$

$$\text{diámetro de otros ductos}_R = 6 \text{ pu lg}$$

$$F_1 = 0.10$$

$$F_R = 0.10$$

$$PV_T = \left(\frac{3500}{4005} \right)^2 = 0.763$$

$$\text{Longitud}_1 = 1181.1 \text{ pu lg}$$

$$\text{Longitud}_6 = 737.8 \text{ pu lg}$$

$$\text{Longitud}_9 = 880.3 \text{ pu lg}$$

$$\text{Longitud}_{10} = 905.5 \text{ pu lg}$$

$$\text{Longitud}_{13} = 8.87 \text{ pu lg}$$

Cálculo de las pérdidas por fricción:

¹⁶ Taller V.R Mideros. Ingeniería Mecánica. Manizales Noviembre de 2005

$$hf_1 = \frac{2.74(VT/1000)^{1.9}}{(\text{diámetro})^{1.22}} = \frac{2.74(3500/1000)^{1.9}}{22^{1.22}} = 0.68 \text{ pie}/\text{min}$$

$$hf_1 = \frac{2.74(VT/1000)^{1.9}}{(\text{diámetro})^{1.22}} = \frac{2.74(3500/1000)^{1.9}}{6^{1.22}} = 3.32 \text{ pie}/\text{min}$$

Cálculo del factor de pérdidas en los codos:

Ducto 1.

Codo de 90°	0.27
Codo de 40°	0.12
Codo de 40°	0.12
Total	0.51

Ducto 6.

Codo de 90°	0.27
Ramal de 45°	0.28
Total	0.55

Ducto 9.

Codo de 90°	0.27
2 Codos de 40°	0.12
Codo de 40°	0.12
Total	0.51

Ducto 10.

Codo de 90°	0.27
Ramal de 45°	0.28
Total	0.55

Ducto 13.

Codo de 90°	0.27
Ramal de 45°	0.28
Total	0.55

$f_a=1$. Valor constante.

Sumatoria de pérdidas:

	Ducto 1	Ducto 6	Ducto 9	Ducto 10	Ducto 13
	0.68	3.32	3.32	3.32	3.32
	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	1	1	1	0.1	0.1
	0.51	0.55	0.51	0.55	0.55
Total	2.29	4.97	4.93	4.97	4.97

Cálculo de las pérdidas de presión estática (PE):

$$PE = \sum p * pv$$

$$PE_1 = 2.29 * 0.763 = 1.74 \text{ pie}^2 / \text{min}^2$$

$$PE_6 = 4.97 * 0.763 = 3.79 \text{ pie}^2 / \text{min}^2$$

$$PE_9 = 4.93 * 0.763 = 3.76 \text{ pie}^2 / \text{min}^2$$

$$PE_{10} = 4.97 * 0.763 = 3.79 \text{ pie}^2 / \text{min}^2$$

$$PE_{13} = 4.97 * 0.763 = 3.79 \text{ pie}^2 / \text{min}^2$$

Cálculo de la eficiencia

$$Pec = Pv * (f_R + f_a)$$

$$Pec = 0.763 * (0.1 + 1) = 0.8393$$

$$Ce = \sqrt{\frac{Pv}{Pec}}$$

$$Ce = \sqrt{\frac{0.763}{0.8393}} = 0.95$$

5.1.3 Consecución del personal idóneo para la construcción, montaje y puesta en marcha del sistema de colección de partículas.

Para la ejecución de este proyecto se gestionó con el taller de Ingeniería Mecánica V.R Mideros de la ciudad de Manizales quien además colaboró con algunas especificaciones presentadas en los diseños.

5.2 PLANTEAMIENTO DE LAS ACCIONES PARA UN MANEJO ADECUADO DEL MATERIAL PARTICULADO EN EL INTERIOR DE LA PLANTA.

Como ya se mencionó en el punto 5.1, debido a la canalización ineficiente del polvo dentro de la planta, se evidencia constantemente polvo en el ambiente, generando un perjuicio para las personas que laboran y/o ingresan a la misma.

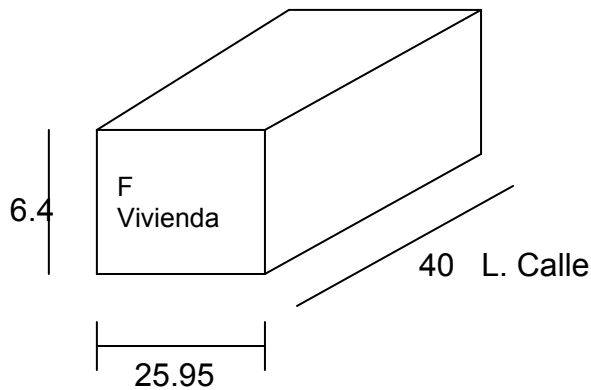
El enfoque de este objetivo, se encuentra dado principalmente en realizar un adecuado mantenimiento de las canalizaciones que conlleve al bienestar principalmente de las personas que laboran dentro de la Trilladora.

Debido a que gran parte de la problemática del polvo en el interior de la Planta, se debe a la alta presión generada, debe modificarse la misma, realizando cambios en el diseño existente, específicamente disminuyendo los diámetros de los ductos, permitiendo esta solución, realizar una canalización adecuada que no requiera el uso de costales para mitigar el impacto.

Deben implementarse sistemas de colección de material particulado (prolongación de los ductos planteados en el diseño presentado en el punto anterior) en las unidades de proceso críticas, como los estiles y en la parrilla de descarga de café pergamino.

Como medida correctiva, se plantea el uso de protectores que puedan reducir los problemas generados por el polvo en las vías respiratorias; esto debe ir acompañado de un completo programa de salud ocupacional, donde se contemplen todas las actividades tendientes a minimizar los riesgos generados por las actividades de desarrolladas al interior de la Trilladora.

5.3 PROPUESTA DE ACCIONES PARA DISMINUIR LOS NIVELES DE RUIDO DENTRO Y FUERA DE LA PLANTA.



$$r=50\text{cm}=0.5\text{m}$$

$$LW=97.8 \text{ db}$$

$$F=125\text{Hz}$$

$$Q=4$$

Area	Material	Coef de absorción
Piso	Hormigón	0.01
Techo	Asbesto	0.0
Pared L	Ladrillo	0.02
Pared F	Ladrillo	0.02

Areas del piso y del techo:

$$40\text{m} * 25.95\text{m} = 1038\text{m}^2$$

Area de las paredes L

$$40\text{m} * 6.40\text{m} = 256\text{m}^2$$

Area de las paredes F

$$25.95\text{m} * 6.4\text{m} = 166.08\text{m}^2$$

Cálculo de los coeficientes de absorción

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 s_1 + \alpha_2 s_2 + \alpha_3 s_3 + \dots}{S_T}$$

Donde:

α es el coeficiente de absorción del material
s son las superficies

$$\alpha_m = \frac{(1038 * 0.01) + (256 * 0.02) + (256 * 0.02) + (166.08 * 0.02) + (166.08 * 0.02)}{2920.16m^2}$$

$$\alpha_m = \frac{27.26}{2920.16} = 9.336 * 10^{-3}$$

$$R = \frac{\alpha_m * ST}{1 - \alpha_m} = \frac{9.336 * 10^{-3} * 2920.16}{1 - 9.336 * 10^{-3}} = \frac{27.262}{0.9906} = 27.51$$

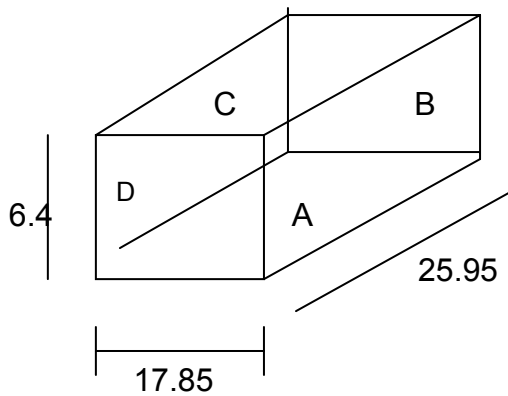
$$LP = LW + 10 \text{Log} \left(\frac{Q}{4\pi r^2} * \frac{4}{R} \right)$$

$$LP = 97.8 \text{db} + 10 \text{Log}(1.2732 * 0.1454)$$

$$LP = 97.8 \text{db} - 7.3253$$

$$LP = 90.4747 \text{db}$$

Al realizar un segundo cálculo para reducir los decibeles, se obtiene:



$$r = 50 \text{cm} = 0.5 \text{m}$$

$$LW = 97.8 \text{ db}$$

$$F = 125 \text{Hz}$$

$$Q = 4$$

Area	Material	Coef de absorción
Piso	Hormigón	0.01
Techo	Asbesto	0.0
Pared A	Corcho perforado	0.14
Pared B	Corcho perforado	0.14
Pared C	Ladrillo	0.02
Pared D	Ladrillo	0.02

$$\alpha_m = \frac{(463.2 * 0.01) + (166.08 * 0.14) + (114.24 * 0.14) + (166.08 * 0.02) + (114.24 * 0.02)}{1372.8m^2}$$

$$\alpha_m = \frac{47.19}{1372.8} = 0.034$$

$$R = \frac{0.034 * 1372.8}{1 - 0.034} = 48.318$$

$$LP = 97.8db + 10Log\left(\frac{4}{4\pi(0.5)^2} * \frac{4}{48.318}\right)$$

$$LP = 97.8db + 10Log(1.2732 * 0.082)$$

$$LP = 87.98db$$

Como solución, se tiene ubicar corcho perforado y pegado a la pared en el lado de la vivienda y la calle, atenuando de esta forma el ruido.

5.4 ASESORÍA A LOS REPRESENTANTES LEGALES DE LA TRILLADORA EN LAS ACTIVIDADES, GESTIONES Y DOCUMENTACIÓN QUE DEBEN EFECTUAR O PRESENTAR PARA LA CONSECUCCIÓN DE LA LICENCIA AMBIENTAL –PARTE AIRE.

5.4.1. Encuesta a la comunidad

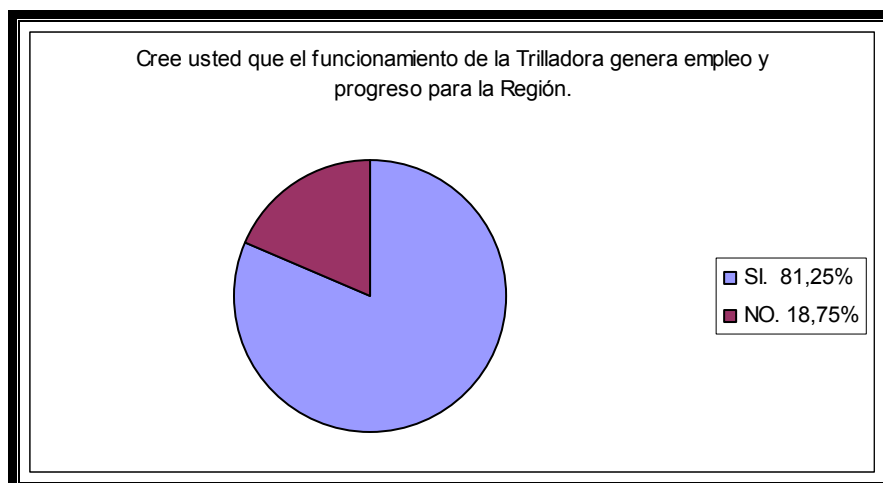
Con el fin de conocer la opinión de las personas ubicadas en el barrio residencial en el cual se encuentra ubicada la Trilladora, se realizó una encuesta presentada en el ANEXO VI; los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Población	20
Número de muestras	16
Porcentaje de la población total encuestada	80

Por razones de seguridad y/o ausencia de una persona que respondiera la encuesta, no se encuestaron 4 viviendas.

1. Cree usted que el funcionamiento de la trilladora genera empleo y progreso para la región?

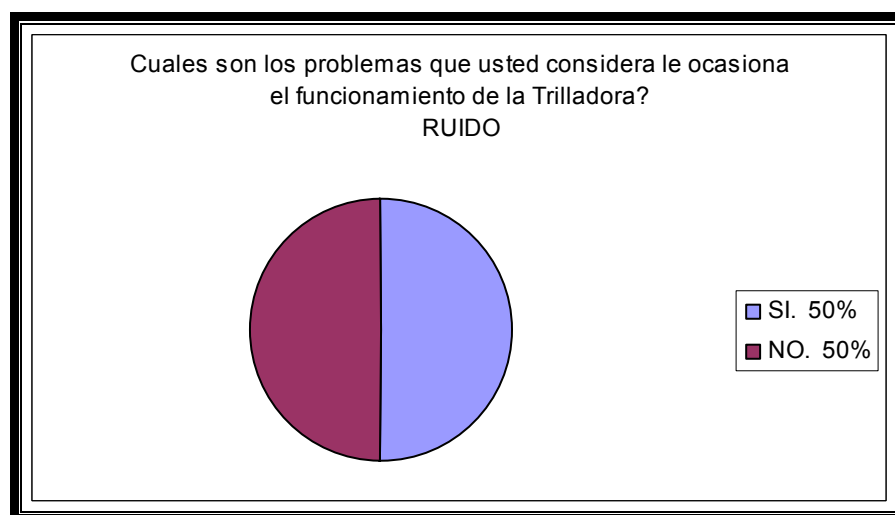
Respuesta	# Viviendas	%
SI.	13	81,25
NO.	3	18,75
TOTAL	16	100



2. Cuáles son los problemas que usted considera le ocasiona el funcionamiento de la trilladora?

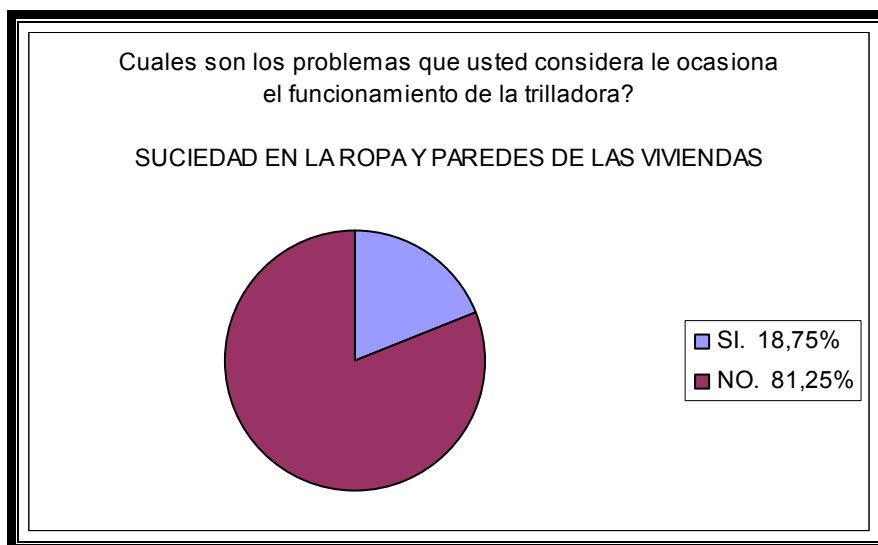
➤ RUIDO

Respuesta	# Viviendas	%
SI.	8	50
NO.	8	50
TOTAL	16	100



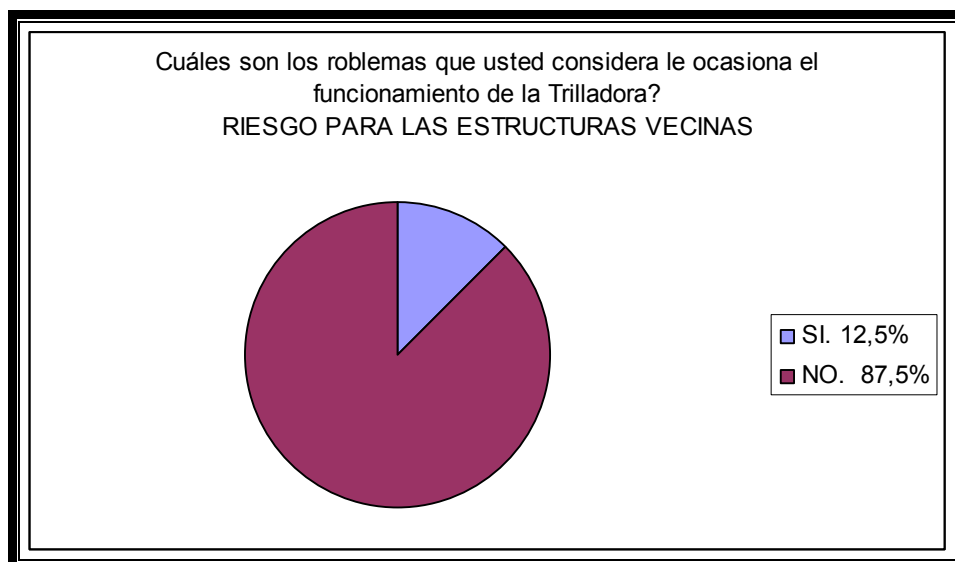
➤ SUCIEDAD EN LA ROPA Y PAREDES DE LAS VIVIENDAS

Respuesta	# Viviendas	%
SI.	3	18,75
NO.	13	81,25
TOTAL	16	100



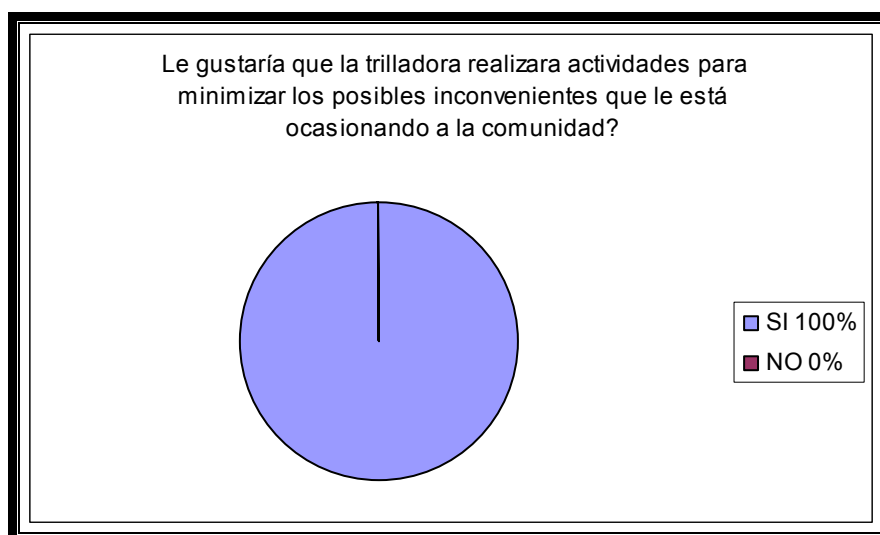
➤ RIESGO PARA LAS ESTRUCTURAS VECINAS

Respuesta	# Viviendas	%
SI.	2	12,5
NO.	14	87,5
TOTAL	16	100



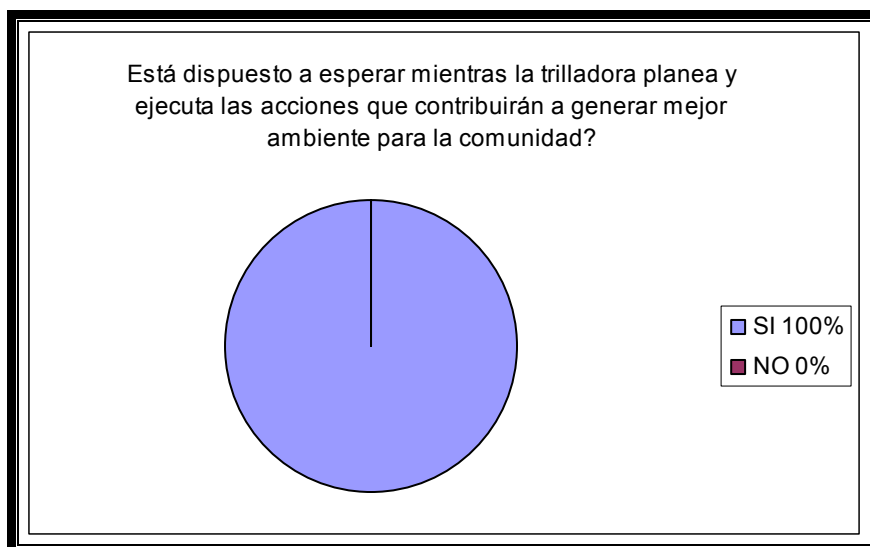
3. Le gustaría que la trilladora realizara actividades para minimizar los posibles inconvenientes que le está ocasionando a la comunidad?

Respuesta	# Viviendas	%
SI.	16	100
NO.	0	
TOTAL	16	100



4. Está dispuesto a esperar mientras la trilladora planea y ejecuta las acciones que contribuirán a generar mejor ambiente para la comunidad?

Respuesta	# Viviendas	%
SI.	16	100
NO.	0	0
TOTAL	16	100



En las respuestas obtenidas, se evidencia la conciencia de la comunidad frente a la importancia económica generada por la Trilladora; sin embargo reflejan la necesidad de realizar actividades tendientes a minimizar los impactos generados por el funcionamiento de la misma.

5.4.2 Elaboración de los oficios.

➤ El Primer Oficio enviado a CORPOCALDAS, se basó en informar a la autoridad sobre el inicio de las gestiones tendientes a minimizar los impactos ambientales generados como consecuencia de las actividades productivas de la misma sobre el recurso aire, mediante la elaboración del presente trabajo de grado.

➤ El segundo Oficio enviado a la Corporación es el plan de cumplimiento, el cual contempla los siguientes aspectos: ¹⁷

a. Fecha inicial y final correspondientes al período en el cual se efectuarán los estudios de ingeniería y los diseños de las medidas correctivas a implantarse.

b. Fecha inicial y final correspondiente al período en el cual se efectuarán los pedidos de los equipos a instalarse y la fabricación o importación de los mismos.

c. Fecha inicial y final correspondiente al período de instalación de los equipos y accesorios.

d. Fecha en la cual se efectuarán las pruebas de los equipos instalados.

e. Fecha en la cual se iniciará la operación definitiva de los equipos de control instalados con el objeto de cumplir las normas establecidas en este decreto⁵.

El ANEXO VII muestra los oficios enviados a CORPOCALDAS.

¹⁷ Ministerio del Medio Ambiente. Decreto 02 del 11 de enero de 1982 Artículos 145- 152.
Emisiones atmosféricas

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El sistema actual de eliminación de material particulado se realiza mediante tres ciclones de 2.200 cfm de aire ubicados al exterior de la planta, los cuales recolectan el polvo del interior de la planta, por medio de tres sistemas de extracción ubicados en la máquina trilladora APOLO, la tolva de almacenamiento y el monitor de almendra; estos sistemas de recolección de material particulado no tienen un sistema de canalización hermético, donde se han dispuesto costales para reducir las emisiones de polvo en el interior de la planta.

La inadecuada canalización mencionada anteriormente, es debida a un problema adicional generado por grandes presiones que generaban pérdidas de café, por la evacuación del mismo en conjunto con el polvo que debía separarse. La ubicación de los costales surgió como alternativa a las aberturas que se hicieron intencionalmente para minimizar el problema antes mencionado.

Lo anterior conlleva a proponer un replanteamiento en el diseño, es decir, la modificación de los diámetros que minimicen la Presión y permitan realizar una canalización hermética del polvo.

- Inicialmente se contempló la posibilidad de realizar una reubicación de los equipos, con el fin de reducir el ruido generado por los mismos, ya que esta implicaba en el menor costo de inversión. Esta posibilidad fue desechada, debido a que los equipos se encuentran ubicados de forma permanente en el piso.
- El material seleccionado para realizar la canalización que conduzca el material particulado del exterior de la planta al interior de la misma, es PVC, ya que en este caso no se tienen restricciones por corrosión o elaboración de alimentos que impliquen cuidados adicionales.

- Los Oficios enviados a Corpocaldas fueron elaborados teniendo en cuenta los plazos otorgados por la Normatividad, ya que cada una de las obras planteadas implican inversiones que requieren el tiempo suficiente para la consecución del capital necesario.
- La encuesta realizada a la comunidad, se realizó con el fin de conocer la opinión de la misma frente a la problemática generada por la inadecuada ubicación de la Trilladora; en las respuestas obtenidas, se evidencia conciencia de la comunidad frente a la importancia económica generada por la Trilladora; sin embargo se refleja la necesidad de realizar actividades tendientes a minimizar los impactos generados por el funcionamiento de la misma.
- Adicional al problema de ruido generado por el funcionamiento de los equipos internos de la Trilladora, se tiene la generación de ruido provocada por los ventiladores de los ciclones, para esto se plantean las siguientes posibles soluciones:
 - Realizar un balance del ventilador
 - Verificar el estado de los rodamientos.
 - Verificar un posible desgaste de las aspas del ventilador debido a la fricción.
- Con el fin de minimizar el ruido generado al exterior de la Trilladora, se propone instalar campanas antivibración en el sistema motoreductor del ciclón.
- Debe realizarse un mantenimiento preventivo continuo a los estiles, ya que estos son fuente generadora de ruido; dicho mantenimiento incluye:
 - Rodamientos
 - Verificación del desgaste de los soportes elásticos de las bielas excéntricas.

- El diseño planteado para minimizar el ruido, se plantea sin una reducción completa en los decibeles, debido a que disminuirlos más implicaría un aumento sustancioso en los costos de inversión, lo cual la empresa no se encuentra en capacidad de asumir en la actualidad.

- Cada una de las alternativas planteadas con el fin de reducir los Impactos Ambientales generados por el funcionamiento de la Trilladora San Mateo en un barrio residencial del municipio de Chinchiná, tienen como finalidad el bienestar colectivo de la Empresa, la Comunidad y La Autoridad Ambiental, haciendo más armónicas las relaciones entre cada uno de estos estamentos.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Acoustic. Recommended Practice For The Design Of Low Noise Machinery And Equipement. Part 2: Introduction To The Physics Of Low Noise Design. ISO/TR 11688-2: 1998
2. **Trilladora San Mateo.** Información Técnica y Jurídica. Septiembre de 2005
3. Departamento de Desarrollo Técnico C.I Super de Alimentos S.A. Equipos para Limpieza de Aire. Septiembre de 2005.
4. **Ministerio del Medio Ambiente.** Decreto 02 del 11 de Enero de 1982 Artículos 145- 152. Emisiones atmosféricas.
5. **Ministerio de Salud.** Resolución No. 8321 Del 4 De Agosto De 1983. “Normas sobre Protección y Conservación de la Audición de la Salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos”.
6. **NOEL DE NEVERS.** Ingeniería de control de la contaminación del aire. Mc Graw Hill. México. 1997
7. **Presidencia de la República.** Decreto 948 DEL 5 DE JUNIO DE 1995 “Prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire”.
8. **Taller V.R Mideros.** Ingeniería Mecánica. Manizales Noviembre de 2005
9. **WARK-WARNER.** Contaminación del Aire. Origen y Control. Editorial Limusa. México. 2002

10. <http://acad.ucaldas.edu.co/jcg/fitotecnia/boletin/18/EL%20CLIMA%20DE%20OLA%20ZONA%20CAFETERA%20DEL%20DEPARTAMENTO%20DE%20CALDAS.htm>
11. <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/biblio/rusegind.pdf>
12. <http://www.epa.gov/air/espanol/peg/key01.html>
13. <http://www.monografias.com/trabajos14/ciclon-disenio/ciclon-disenio.shtml>.
14. <http://www.prodigyweb.net.mx/redmas/pm.htm>