

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



TEC | Tecnológico  
de Costa Rica

***“Rediseño del filtro de mangas del área de premezclados para la  
Planta CEMEX Costa Rica”***



Informe de Práctica de Especialidad para optar por el título de Ingeniero en  
Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura.

GREIVIN DAVID GUTIÉRREZ BRENES

CARNÉ: 201163882

CARTAGO, NOVIEMBRE 2017



Carrera Evaluada y Acreditada por el  
Engineering Canadian Accreditation  
Board (ECAB)

**Profesor tutor:**

Ing. José Alberto Garro Zavaleta

**Asesor industrial:**

Ing. Víctor Julio Navarro Flores

**Tribunal examinador:**

Ing. Gilbert Bonilla Castillo

Ing. Óscar Monge Ruíz

## INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE

**Nombre:** Greivin David Gutiérrez Brenes

**Cedula:** 6 0400 0150

**Carné Estudiantil:** 201163882

**Residencia en época lectiva:** Residencial Hacienda el Rey frente al Parque Industrial de Cartago, Casa 33l. Guadalupe, Cartago, Costa Rica.

**Residencia en época no lectiva:** 150 metros al noroeste de la antigua capilla, casa esquinera color amarilla. La Mansión, Nicoya, Guanacaste.

**Teléfono:** +506 8881-2498

**Correo electrónico:** [gregutbre@gmail.com](mailto:gregutbre@gmail.com)

## INFORMACIÓN DEL PROYECTO

**Nombre del proyecto:** Rediseño del filtro de mangas del área de premezclados para la Planta CEMEX Costa Rica.

**Profesor tutor:** José Alberto Garro Zabaleta

**Horario de trabajo:** lunes a viernes de 8am a 5pm

## INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

**Nombre:** CEMEX Costa Rica

**Tipo:** Industria Cementera

**Dirección:** Colorado de Abangares, Guanacaste, Costa Rica.

**Teléfono:** 2678 0215 ext. 11438

**Actividad principal:** Producción de cemento y morteros para construcción.

## *DEDICATORIA*

Primeramente, dedicarlo a Dios, por guiar mis pasos y nunca dejarme desistir en este proceso que sin la ayuda de Él nada hubiese sido posible.

Dedico este proyecto a lo más hermoso que Dios me dio, mi familia:

A mi madre Marianella y a mi padre Leonardo por siempre ayudarme a cumplir mi sueño, gracias por la educación, por los consejos y valores. A mis hermanos Leo y Nazareth por apoyarme y a mi sobrina Alana que llegó en el mejor momento a darme felicidad e impulso de vivir y seguir adelante.

Querida familia, gracias de verdad por apoyarme siempre, creer en mí y sobre todo nunca dejarme desistir.

## *AGRADECIMIENTOS*

En primer lugar, agradezco al Tecnológico de Costa Rica por darme la oportunidad de formar parte de esta comunidad estudiantil donde desgraciadamente no todos pueden estar por una u otra razón, gracias a sus profesores por la enseñanza, consejos y paciencia; a mi profesor tutor Alberto Garro por la ayuda brindada en este proceso. A todos los compañeros y amigos de estudio que me acompañaron durante años y formaron parte de mi superación personal y de quienes aprendí.

Agradezco a la empresa CEMEX Costa Rica por abrirme las puertas y dejarme demostrar mis habilidades, a mis asesores industriales Rubaldo Batista y Víctor Navarro por la confianza y ayuda brindada. A los ingenieros Alonso Mayorga, Walter Villalobos, Guido Hernández, Álvaro Arguedas, Mario Marchena y técnico Juan David Vásquez quienes sin su ayuda, no hubiese podido desarrollar de manera tan satisfactoria este proyecto.

A todas esas personas que de manera directa o indirecta me apoyaron siempre durante mi estadía en el Tecnológico y nunca me abandonaron en este largo proceso, esto es por ustedes y gracias por todo.

## Tabla de contenido

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE.....	ii
INFORMACIÓN DEL PROYECTO .....	ii
INFORMACIÓN DE LA EMPRESA .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ABREVIATURAS.....	xv
DEFINICIONES .....	xvi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
1. CAPÍTULO I. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA .....	3
1.1. Descripción y reseña histórica. ....	3
1.2. Políticas CEMEX.....	5
1.2.1. Misión.....	5
1.2.2. Valores.....	5
1.2.3. Seguridad y salud.....	5
1.3. Descripción del departamento de mantenimiento. ....	5
1.4. Descripción del proceso productivo. ....	7
2. CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	9

2.1.	Problema que resolver.....	9
2.2.	Objetivos.....	10
2.2.1.	Objetivo General. ....	10
2.2.2.	Objetivos Específicos.....	10
2.3.	Justificación. ....	11
2.4.	Viabilidad. ....	12
2.5.	Metodología. ....	12
2.6.	Alcances. ....	14
2.7.	Cronograma del desarrollo del Proyecto.....	15
3.	CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO.....	16
3.1.	Normativa.....	16
3.1.1.	Reglamento de calidad de aire para contaminantes. ....	16
3.2.	Ventilación Industrial.....	17
3.2.1.	Definiciones básicas en ventilación.....	17
3.3.	Métodos para el control de la contaminación por polvo. ....	20
3.3.1.	Cámaras de sedimentación.....	21
3.3.2.	Separadores ciclónicos. ....	22
3.3.3.	Colectores húmedos. ....	23
3.3.4.	Precipitador electrostático.....	25

3.3.5.	Filtros de mangas.....	26
3.4.	Ventilación localizada. ....	34
3.4.1.	Sistemas de ventilación por extracción. ....	35
3.5.	Ventiladores.....	37
3.5.1.	Ventiladores axiales. ....	37
3.5.2.	Ventiladores centrífugos.....	38
3.5.3.	Curvas características de los ventiladores. ....	40
4.	CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	44
4.1.	Colector de polvo seleccionado. ....	44
4.1.1.	Caudal de entrada.....	46
4.1.2.	Área del filtro de mangas. ....	48
4.2.	Selección del medio filtrante o mangas. ....	48
4.3.	Sistema de limpieza seleccionado.....	51
4.3.1.	Selección de la válvula de limpieza por pulsos. ....	51
4.3.2.	Selección cajas de aluminio de válvulas piloto.....	53
4.4.	Medición de pérdidas de carga del sistema actual. ....	54
4.5.	Selección del ventilador.....	58
4.5.1.	Verificación del ventilador por coeficiente Cv.....	60
4.6.	Dimensionamiento de campanas de extracción.....	63



4.7.	Sistema de almacenaje y transporte del polvo.....	64
4.8.	Programa de mantenimiento del filtro de mangas.....	66
4.9.	Costo del proyecto .....	69
CONCLUSIONES.....		73
RECOMENDACIONES.....		74
BIBLIOGRAFÍA.....		75
APÉNDICES.....		77
Apéndice 1: Capacidad del filtro utilizando puntos de desempolvo. ....		77
Apéndice 2: Eficiencia teórica de un filtro de mangas.....		78
Apéndice 3: Proceso de medición de presiones. ....		78
Apéndice 4: Muestra de cálculos del dimensionamiento de las campanas de extracción. ....		80
Apéndice 5: Imágenes de la situación actual del filtro de mangas.....		82
Apéndice 6: Detalles de conexión de tuberías a la entrada del filtro.....		83
ANEXOS.....		85
Anexo 1: Puntos de generación de polvo y caudal necesario para desempolvar.....		85
Anexo 2: Especificaciones técnicas de las válvulas de pulso. ....		89
Anexo 3: Especificaciones técnicas de las cajas de válvulas piloto.....		90
Anexo 4: Cotización y especificaciones del ventilador seleccionado. ....		91

Anexo 5: Cotización de las cajas de válvulas piloto.....	94
Anexo 6: Cotización de válvulas de pulsos.....	95
Anexo 7: Propuesta económica del filtro de mangas por la empresa EXAUSFIBRA.....	96

## Índice de Tablas

Tabla 1. Metodología de realización del proyecto. ....	13
Tabla 2. Propiedades de materiales usados en filtros de mangas. ....	29
Tabla 3. Resumen de filtros de mangas y sus características.....	30
Tabla 4. Características de algunas operaciones en ventilación industrial.....	31
Tabla 5. Tipos de campana para extracción localizada.....	36
Tabla 6. Comparación de los métodos de colección de polvo.....	44
Tabla 7. Comparación de los sistemas de limpieza.....	51
Tabla 8. Número de ductos y longitudes. ....	55
Tabla 9. Mediciones de caída de presión en los ramales de mayor distancia.	56
Tabla 10. Caídas de presión para diferentes caudales. ....	61
Tabla 11. Presión estática para diferentes caudales del ventilador Flakt. ....	61
Tabla 12. Dimensionamiento de las campanas de extracción de polvo. ....	63
Tabla 13. Rutinas de mantenimiento propuestas para el sistema colector de polvo. ....	67
Tabla 14. Costo económico aproximado del filtro de mangas. ....	70

## Índice de Figuras

Figura 1. Vista aérea de CEMEX Costa Rica Planta Colorado, Abangares. ....	4
Figura 2. Organigrama del departamento de Mantenimiento de CEMEX.....	6
Figura 3. Proceso productivo de cemento de forma gráfica. ....	8
Figura 4. Cronograma de elaboración del proyecto.....	15
Figura 5. Balance de flujo volumétrico, A. Un solo ramal, B. Dos ramales. ....	20
Figura 6. Cámara de sedimentación por expansión. ....	22
Figura 7. Principio de funcionamiento de un separador ciclónico.....	23
Figura 8. Principio de funcionamiento de un colector húmedo. ....	24
Figura 9. Principio de funcionamiento de un precipitador electrostático.....	25
Figura 10. Filtro de mangas con extracción de partículas por aire comprimido. .....	27
Figura 11. Principio de funcionamiento del medio filtrante. ....	28
Figura 12. Limpieza de filtro de mangas por agitación. ....	32
Figura 13. Limpieza de filtro de mangas por aire a la inversa. ....	33
Figura 14. Limpieza de filtro de mangas por aire comprimido tipo pulse-jet. ....	34
Figura 15. Terminología usual de los ventiladores axiales con directrices. ....	38
Figura 16. Ventiladores centrífugos con palas curvadas. ....	39
Figura 17. Terminología usual de los ventiladores centrífugos.....	40

Figura 18. Curva característica de un ventilador. ....	41
Figura 19. Forma de curva característica para diferentes tipos de ventiladores. .....	42
Figura 20. Punto de operación óptimo del ventilador. ....	43
Figura 21. Sistema actual del filtro de mangas en premezclados.....	45
Figura 22. Propuesta de distribución de mangas 15 x 15.....	50
Figura 23. Válvula de pulsos GOYEN Serie T.....	52
Figura 24. Caja de válvulas piloto GOYEN.....	53
Figura 25. Vista superior de ramales del sistema actual. ....	54
Figura 26. Ejemplo gráfico de las reducciones mencionadas en la nota anterior.....	55
Figura 27. Características del ventilador seleccionado. ....	59
Figura 28. Sistema aerodeslizador de polvo.....	64
Figura 29. Funcionamiento de la recolección por bolsas o bandejas. ....	66
Figura 30. Tomas de aire, instalada a lo largo de las tuberías, filtro, y entrada del ventilador.....	78
Figura 31. Tomas de medición para tubo pitot instalada a la entrada del ventilador.....	79
Figura 32. Situación actual de la conexión de tuberías a la entrada del filtro de mangas. ....	82

Figura 33. Situación actual del sistema de limpieza por pulsos y estructura del filtro de mangas.....	82
Figura 34. Detalles de conexión de tuberías ideal con prevista a la entrada del filtro. ....	83
Figura 35. Detalles de conexión de tuberías ideal sin prevista a la entrada del filtro. ....	84
Figura 36. Caudal de desempolve para enfriador de clinker, cribas y máquinas ensacadoras.....	85
Figura 37. Caudal de desempolve para bandas transportadoras, molinos y tolvas.....	86
Figura 38. Caudal de desempolve para sistemas neumáticos, separadores, silos y elevadores.....	87
Figura 39. Caudal de desempolve para almacenes, trituradoras y carga a granel.....	88
Figura 40. Características técnicas de la válvula de pulsos marca GOYEN....	89
Figura 41. Características técnicas de la caja de válvulas piloto marca GOYEN. ....	90
Figura 42. Curva característica del ventilador marca Flakt.....	91
Figura 43. Características mecánicas del ventilador marca Flakt.....	92
Figura 44. Lista de precios del ventilador marca Flakt y partes de montaje. ...	93
Figura 45. Cotización de las cajas de válvulas piloto marca GOYEN.....	94
Figura 46. Cotización de válvulas de pulsos marca GOYEN.....	95

Figura 47. Cotización del filtro de mangas a la empresa EXAUSFIBRA, Brasil.

.....97

## ABREVIATURAS

$^{\circ}C$ .....	grados centígrados	$L \cdot atm / K \cdot mol$ .....	litro atmósfera por kelvin mol
$\Delta P$ .....	diferencia de presión	$m$ .....	metros
$atm$ .....	atmósferas	$m^2$ .....	metro cuadrado
$cfm$ .....	pies cúbicos por minuto	$m^3$ .....	metro cúbico
$cm$ .....	centímetros	$m^3 / min$ .....	metro cúbico por minuto
$ft^2$ .....	pies cuadrados	$m/s$ .....	metro por segundo
$in$ .....	pulgadas	$mg / m^3$ .....	miligramo por metro cúbico
$K$ .....	Kelvin	$mmcda$ .....	milímetro de columna de agua
$kcal / kg \cdot ^{\circ}C$ .....	kilocalorías por kilogramo grado centigrado	$mol$ .....	mol
$kg / m^2$ .....	kilogramo por metro cuadrado	$ms$ .....	milisegundo
$kg / m^3$ .....	kilogramo por metro cúbico	$msnm$ .....	metros sobre el nivel del mar
$kg / mol$ .....	kilogramo por mol	$\mu g / m^3$ .....	microgramo por metro cúbico
$L$ .....	litros	$\mu m$ .....	micrómetro



## DEFINICIONES

**Aire de renovación:** término empleado en ventilación para indicar el volumen de aire exterior, que de forma controlada es introducido en edificios para sustituir el aire extraído.

**Aire estándar:** aire seco a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $1\text{ atm}$ . Su densidad es de  $1,2\text{ kg}/\text{m}^3$  y calor específico de  $0,24\text{ kcal}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$

**Campana:** entrada diseñada para capturar el aire contaminado y dirigirlo e introducirlo en un sistema de conductos de extracción.

**Captador de polvo:** depurador diseñado para separar del aire extraído, antes de su descarga al exterior, cantidades importantes de partículas.

**Densidad:** es el coeficiente entre la masa de un espécimen o sustancia y su volumen o bien, la cantidad de masa por unidad de volumen y se mide en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

**Depurador:** aparato diseñado con el fin de separar del aire los contaminantes que contiene, tales como polvo, gases, vapores y humos.

**Factor de densidad:** es el cociente entre la densidad real del aire y la densidad del aire standard.

**Factor de forma:** relación anchura/longitud.

**Filtro de aire:** depurador destinado a separar del aire atmosférico pequeñas cantidades de partículas antes de que este sea introducido a un edificio.

**Flujo volumétrico (caudal):** volumen o cantidad de aire que atraviesa una determinada sección transversal por unidad de tiempo, se mide en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

**Manómetro:** instrumento para la medida de la presión; consiste en un tubo con forma de U lleno parcialmente con un líquido, usualmente agua, mercurio o un

aceite ligero, construido de forma que la magnitud del desplazamiento del líquido indica la presión ejercida.

**Milímetro de columna de agua (mmcda):** unidad de presión igual a la presión ejercida por una columna de agua de un milímetro de altura a temperatura standard equivale a  $1 \text{ kg/m}^2$ .

**Pérdida de carga en la entrada:** caída de presión producida por el flujo de aire en la entrada de una campana o conducto debido a la fricción que existe.

**Presión dinámica:** presión cinética en la dirección del flujo que es necesaria para hacer que un fluido en reposo fluya a una determinada velocidad. Normalmente, se expresa en *mmcda*.

**Presión estática:** presión potencial ejercida en todas las direcciones por un fluido en reposo. Para un fluido en movimiento se mide en dirección perpendicular a la del flujo. Normalmente se expresa en *mmcda* cuando se trata de aire.

**Presión total:** es la suma algebraica de la presión dinámica y estática.

**Polvo:** pequeñas partículas sólidas producidas por la ruptura de partículas de mayor tamaño mediante procesos mecánicos tales como molturación, perforación, pulido, explosiones, etc. Las partículas de polvo presentes en un material pueden pasar al aire a causa de operaciones tales como paleado, tamizado, transporte, etc.

**Valor límite (TLV):** se define como la concentración en el aire de una sustancia a la que se considera que casi todos los trabajadores pueden exponerse repetidamente día tras día sin sufrir efectos adversos.

## RESUMEN

CEMEX Costa Rica es una de las empresas cementeras más grandes del país, con impactos sociales y ambientales importantes, es por esto la necesidad de cumplir con los requisitos estipulados para una producción responsable y sin contaminantes. En la empresa se está comprometido con el ambiente, por lo que se encuentran los llamados “filtros de mangas” que se encargan de eliminar las impurezas del aire para una mejor producción y una menor contaminación por polvo. Se debe tener en cuenta que por parte del Ministerio de Salud de Costa Rica se debe cumplir con normas para no atentar contra el medio ambiente y la misma salud de las personas.

En la sección de premezclados de la empresa es donde se realiza la reducción de tamaño de la piedra caliza para la producción de cemento, por lo que la cantidad de polvo en el aire es mayor y por consiguiente se debe contar con un sistema de colector de partículas para el almacenamiento y tratado de polvo en el área de trabajo.

En este informe se pretende proponer una solución de rediseño de uno de los colectores para así realizar una máxima recolección de partículas y hacer del proceso más eficiente. Esta propuesta consiste en realizar investigaciones, mediciones y diseños óptimos para plantear una solución. Una vez que se ha determinado la mejor alternativa de colección, se realizan cálculos para determinar la capacidad del colector de partículas y del ventilador necesario, se selecciona el material adecuado para la manga filtrante, así como el sistema de limpieza requerido para esta aplicación. También se realiza una proyección del costo económico del colector de partículas y así tener una referencia de inversión. Por último, se crean rutinas de mantenimiento para mantener la eficiencia del colector de partículas lo más elevada posible.

**Palabras Claves:** Cementera, contaminación, polvo, caliza, colector, normas, rediseño, mantenimiento, eficiencia, inversión.

## **ABSTRACT**

CEMEX Costa Rica is one of the biggest companies in the world, with an important social and environmental impacts, which is why it is necessary to comply with the stipulated requirements for responsible and pollutant production. The company is committed with the environment, so are the called "sleeves filters" that are responsible to eliminating impurities from the air for better production and less dust pollution. It should be kept in mind that Costa Rica Ministry of Health must comply with the rules to avoid harm to the environment and the health of people.

In the premixing section of the company is where the stone size reduction to produce cement, is carried out, so the amount of dust in the air is greater and therefore must have a particulate collector system for the storage and treatment of dust in the work area.

This report proposes a solution to redesign one of the collectors to perform a maximum particles collection and make the process more efficient. This proposal consists of conducting research, measurements and optimal designs to propose a solution. Once the best collection alternative has been selected, the material suitable for the filtration will be selected, as well as the cleaning system required for this application. Also, a projection of the economic cost of the particle collector is made and thus have an investment reference. Finally, maintenance routines are created to maintain the efficiency of the particle collector as high as possible.

**Keywords:** Cement, pollution, dust, limestone, collector, standards, redesign, maintenance, efficiency, investment.

## **1. CAPÍTULO I. INFORMACIÓN DE LA EMPRESA**

### **1.1. Descripción y reseña histórica.**

CEMEX es una empresa que fue fundada en México en 1906, ha pasado de ser un pequeño competidor regional a ser una de las compañías líderes en la industria. A mediados de los 80's México empezó a abrir su economía. En ese tiempo, los productores globales de cemento ya estaban pasando por un proceso de consolidación y algunos intentaban entrar al mercado mexicano. CEMEX en ese entonces junto a un conglomerado mexicano pequeño, decidieron enfocarse al negocio del cemento y en crecer.

Entre los años 1985-1990 CEMEX se convierte en un productor consolidado en el mercado mexicano y toma protagonismo en el mercado del sur de los Estados Unidos. Para el período 1991-1995, las adquisiciones en España le dieron una importante presencia en Europa, Venezuela, República Dominicana y Panamá, para el período de 1996-2000, Colombia, Costa Rica, Filipinas, Indonesia y otras regiones marcaron aún más el crecimiento de la empresa.

En 1999 CEMEX adquiere el 95% de las acciones del entonces llamado Cementos del Pacífico (CEMPA) en Costa Rica para seguir creciendo como empresa. La planta más grande de CEMEX en Costa Rica se encuentra en Colorado de Abangares ya que en esta zona se encuentra la mayor cantidad de materia prima para la producción de cemento. Sin embargo, cuenta con otras plantas como la situada en Patarra de Desamparados, la cual se encarga únicamente de molienda y empaclado, pero no deja de ser de gran importancia para la empresa.

CEMEX al estar en una zona poco industrial para Guanacaste, con el pasar del tiempo se ha convertido en un pilar para la generación de empleo en la zona de Colorado de Abangares, ya que los trabajadores que laboran en la empresa en su mayoría son de esta zona.

Económicamente, CEMEX se ha vuelto importante para el país y para las empresas que se quieren abrir paso en los diferentes negocios, ya que además de vender producto, la empresa brinda capacitaciones y asesoría a pequeñas y medianas empresas. La empresa no sólo está comprometida con la producción sino también con el ambiente, el cual se trata de generar una contaminación mínima y así contribuir con el impacto ambiental.

### **CEMEX en Costa Rica**

- 1999: Adquisición del 95% de las acciones de CEMPA.
- 2002: Adquisición de concretos Pedregal.
- 2003: Certificación ISO 9001 en Cemento.
- 2004: Adquisición de mina de agregados en Guápiles.
- 2005: Certificación ISO 9001 en Concretos.
- 2009: Nuevos negocios Construrama e Infraestructura y Vivienda.
- 2011: Certificación ISO 17025 en Colorado.
- 2012: Certificación ISO 14001 en Colorado.
- 2008 - 2013: Amplia negocios y busca consolidarse en ellos.



Figura 1. Vista aérea de CEMEX Costa Rica Planta Colorado, Abangares.

Fuente: (CEMEX, 2017).

## **1.2. Políticas CEMEX.**

### **1.2.1. Misión.**

La misión de CEMEX es crear valor sostenido al proveer productos y soluciones líderes en la industria para satisfacer las necesidades de construcción de nuestros clientes en todo el mundo.

### **1.2.2. Valores.**

Principios que motivan a la gente CEMEX:

- Liderazgo
- Integridad
- Colaboración
- Trabajar como un solo CEMEX

### **1.2.3. Seguridad y salud.**

Se le da una máxima prioridad a la seguridad, prevención de incidentes y a salvaguardar la salud de los colaboradores y visitantes. CEMEX ha desarrollado programas corporativos que dotan a su personal y contratistas de herramientas avanzadas de liderazgo en seguridad y salud proporcionando más que una cultura de trabajo, un estilo de vida que sea llevado a los hogares formando parte de un crecimiento familiar y la educación.

## **1.3. Descripción del departamento de mantenimiento.**

La descripción del departamento de mantenimiento se muestra en la figura 2, este va desde la gerencia de mantenimiento, hasta los técnicos que se encuentran en dicho departamento.

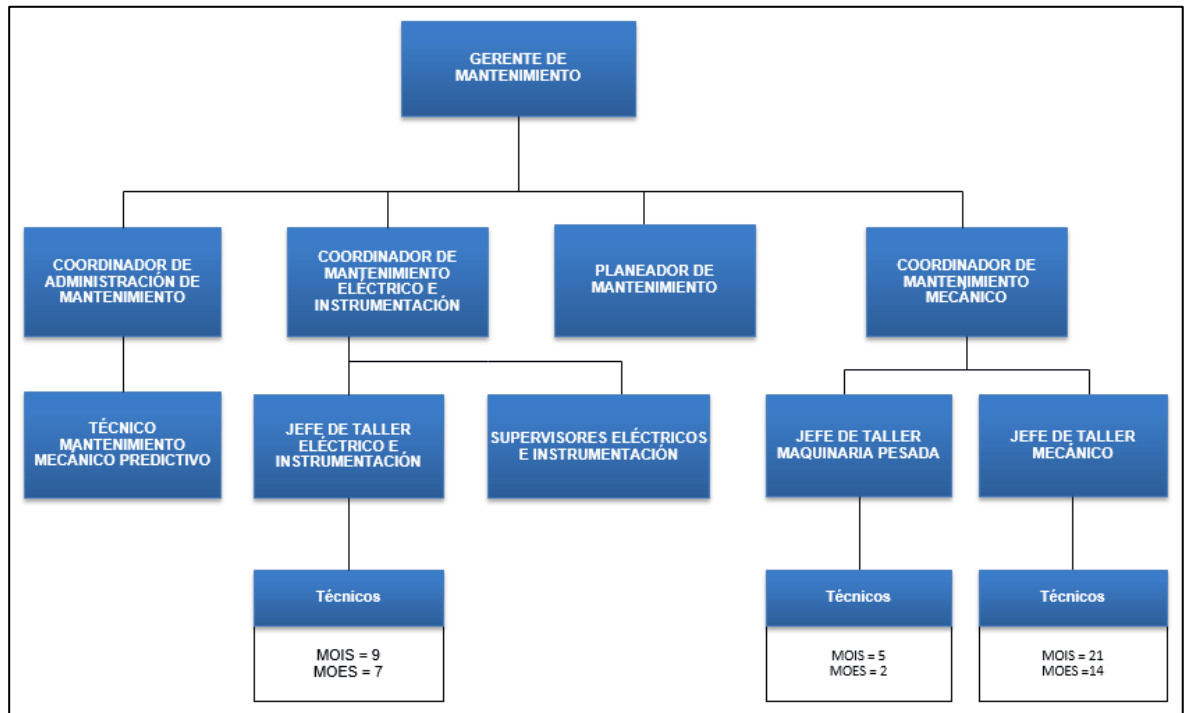


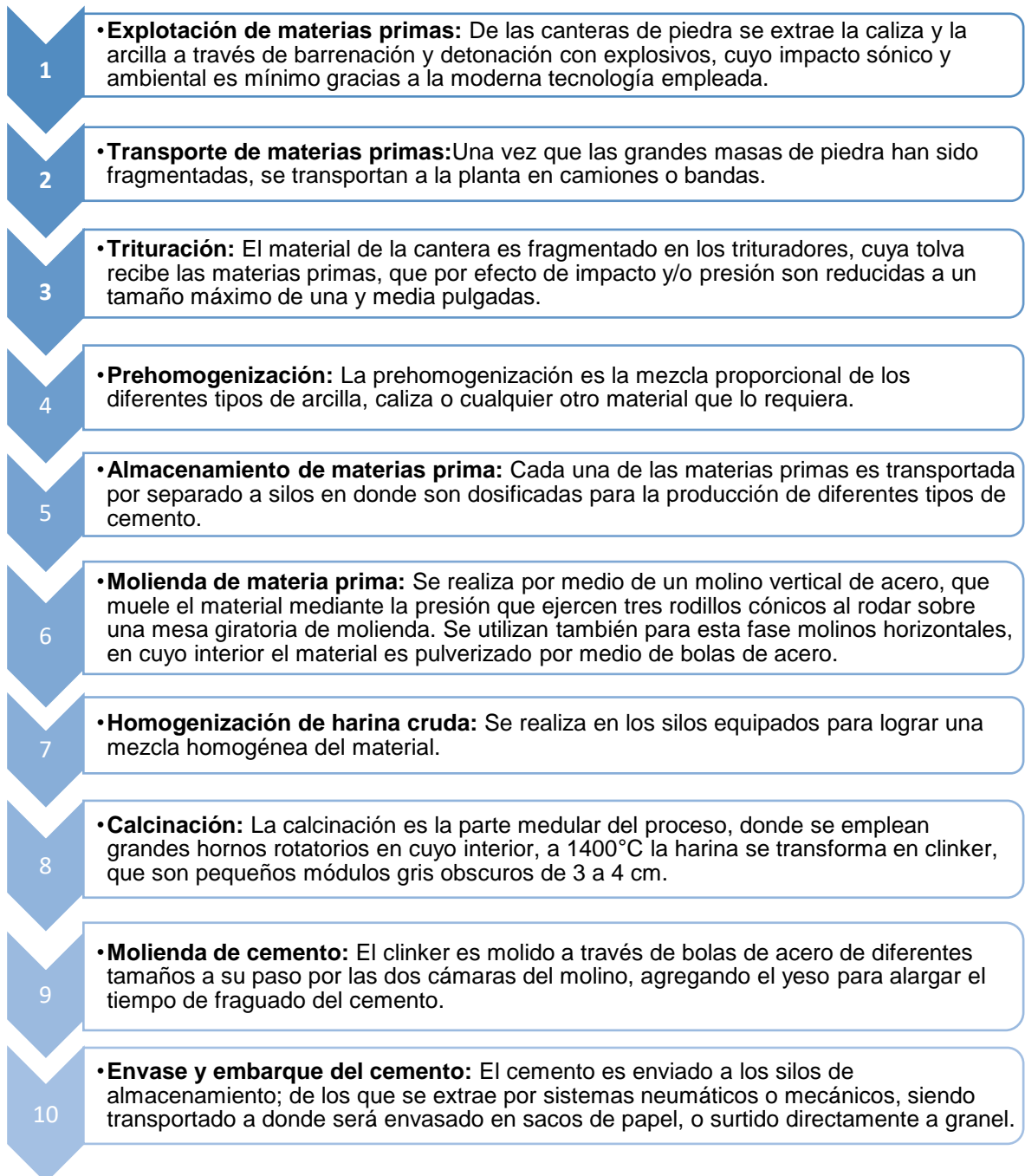
Figura 2. Organigrama del departamento de Mantenimiento de CEMEX.

Fuente: (CEMEX, 2017)



#### 1.4. Descripción del proceso productivo.

El proceso productivo del cemento se observa detalladamente en la siguiente estructura y de forma gráfica en la figura 3:



Fuente: (CEMEX, 2017).



Figura 3. Proceso productivo de cemento de forma gráfica.

Fuente: (CEMEX, 2017).

## **2. CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **2.1. Problema que resolver.**

En CEMEX se encuentran equipos llamados “filtros de mangas” los cuales se encargan de la separación del polvo y el aire que sale limpio al ambiente. Este polvo se debe a la trituración de la piedra caliza la cual se va a utilizar en la producción del cemento.

La situación actual se debe que debido a ampliaciones que se han realizado en el sistema de filtrado de aire, el filtro de mangas en la sección de premezclados ha reducido su capacidad, por lo que se debe considerar un rediseño y separar de una manera más eficiente el polvo que va al ambiente. Por lo que se deben de considerar los puntos de desempolvo actuales y determinar cuáles son los más críticos para tomar una decisión acerca de la solución más viable de la problemática.

Por otra parte, por parte del Ministerio de Salud existen normas que estipulan rangos de contaminación al ambiente, por lo que estar por debajo de estos rangos es obligación por parte de la empresa para así poder operar sin inconvenientes. Más que una problemática, lo que se quiere en la empresa es disminuir la contaminación al ambiente y llevar los niveles por debajo del mínimo para operar eficientemente y de acuerdo con las normas estipuladas.

## **2.2. Objetivos.**

### **2.2.1. Objetivo General.**

1. Rediseñar el filtro de mangas de la sección de premezclados de la planta CEMEX Costa Rica.

### **2.2.2. Objetivos Específicos.**

1. Considerar normas estipuladas por parte de la empresa y de instituciones gubernamentales en cuanto a la emanación de partículas que atenten contra el ambiente y la vida humana.
2. Analizar los puntos de desempolvo actuales de acuerdo con el caudal necesario para la extracción de partículas de polvo.
3. Diseñar la estructura del filtro tomando en cuenta la alternativa más conveniente para la extracción de partículas en la empresa.
4. Seleccionar el sistema completo de extracción de partículas que mejor se ajuste al proceso.
5. Dibujar planos utilizando el Software AutoCAD 2018 que contengan resúmenes acerca de la construcción del proyecto.
6. Estimar el costo de la inversión del sistema completo de extracción de partículas.

### **2.3. Justificación.**

CEMEX Costa Rica es una de las empresas cementeras más grandes del país con un impacto económico y ambiental muy grande. En el área de premezclados se lleva a cabo la separación del polvo utilizado en una parte de la producción de la empresa, sin embargo, en época seca el exceso de polvo es mayor a las normas estipuladas por la misma empresa, es por esto la necesidad de un rediseño del filtro y con esto recolectar una mayor cantidad de polvo y hacer más productivo el proceso.

La importancia del rediseño de este filtro se basa principalmente, en reducir la cantidad de polvo que va al ambiente. CEMEX como empresa cuenta con normas estipuladas en exceso de polvo producido, estas van de grado 1 (óptimo) a grado 3 (exceso). En este momento (considerando que se encuentra en la época seca) la empresa se encuentra en grado 3, con el rediseño se pretende llegar a grado 1 partiendo del hecho crítico la época de poca lluvia y es cuando se produce el exceso de polvo.

Al no proponerse ninguna solución con este filtro se puede tener un impacto ambiental muy grande debido a la contaminación por polvo que puede haber en la empresa que afectarían a los mismos empleados. También se debe tener en cuenta que existen reglamentos que estipulan la cantidad de polvo a la que un trabajador puede estar expuesto diaria, semanal y anualmente.

La solución de un rediseño del filtro puede ayudar en muchos aspectos a la empresa, entre estas pueden ser:

- ✓ Aprovechar de una mejor manera el exceso de polvo en el proceso para aumentar los indicadores de producción.
- ✓ Hacer que los equipos involucrados con el filtro de mangas realicen el proceso de una manera más eficiente.

- ✓ Contribuir con el ambiente y llevar los niveles del polvo al mínimo estipulado por Reglamento de Calidad de Aire para Contaminantes.

#### **2.4. Viabilidad.**

Se cuenta con una gran cantidad de filtros, estos se encuentran distribuidos por toda la empresa para la recolección de polvo, por lo que tomar en cuenta estos otros diseños puede ser de mucha importancia.

La empresa cuenta con departamentos mecánicos y eléctricos, como un departamento de mantenimiento tercerizado, que cuentan con equipo de medición adecuado. El rediseño del filtro es de suma importancia para la empresa por lo que se está comprometido con el apoyo para la realización de éste.

Para la realización del proyecto también se cuenta con la información de la empresa, y poder tener un punto de partida. La información de libros y pappers de empresas diseñadoras de filtros de manga es de mucha importancia. La estructura y planos del diseño se pueden realizar por medio de software como AutoCAD o bien Solidworks que, gracias a la educación obtenida, se tiene conocimiento acerca de la utilización de estos productos.

#### **2.5. Metodología.**

En la tabla 1 se muestra una guía de las diferentes tareas o actividades a realizar basada en cada uno de los objetivos específicos propuestos, con la intención de aprovechar la mayor parte del tiempo durante la realización del proyecto.

**Tabla 1.** Metodología de realización del proyecto.

<b>Objetivo Específico</b>	<b>Actividad</b>
1. Consideración de Normas	1.1. Investigar las normas que se relacionen con la contaminación ambiental por partículas de polvo.
2. Establecimientos de diseño	2.1. Se analizarán los puntos de extracción de polvo y determinar otros más eficientes en la extracción de partículas. 2.2. Realizar inspecciones del área donde se pretende instalar el filtro de mangas
3. Cálculos del filtro	3.1. Investigación acerca de cálculos de un filtro de mangas. 3.2. Investigar los caudales necesarios para desempolvo en trituradoras, cribas y bandas transportadoras.
4. Diseño del filtro	4.1. Realizar un diseño óptimo del filtro considerando los cálculos anteriores y la estructura que mejor se adapte al proceso.
5. Selección	5.1. Seleccionar la alternativa de colectores de polvo más eficiente para el proceso, como el método de limpieza más adecuado. 5.2. Seleccionar la manga adecuada para el filtro. 5.3. Seleccionar el sistema de limpieza adecuado. 5.4. Seleccionar un ventilador que se ajuste a las necesidades del proceso.
6. Dibujos	6.1. Dibujar resúmenes acerca de la construcción del colector de polvo.
7. Preparación del borrador final del proyecto	7.1. En las actividades anteriores se va preparando el documento conforme la investigación. 7.2. En este apartado se prepara todo el documento una vez obtenida toda la información y el diseño del filtro.
8. Exposición final del proyecto	8.1. Una vez listo el borrador final, se envía a la escuela de la carrera para su revisión. 8.2. Se expone y defiende el proyecto realizado.

Fuente: Elaboración propia (Office Word 2016).

## **2.6. Alcances.**

Como se mencionó anteriormente, los filtros son muy importantes tanto para la empresa como para el proceso productivo y claramente para el ambiente, para poder cumplir con las normativas impuestas por el Ministerio de Salud. Este rediseño es una necesidad de la empresa, por lo que la petición por parte de los mismos es que este proyecto no quede solamente en papel.

Se pretende que este proyecto se pueda implementar lo más rápido posible, sin embargo, se debe contar primero con el diseño del mismo, una vez con el nuevo diseño se procede a realizar el cambio de este.



## 2.7. Cronograma del desarrollo del Proyecto.

No.	Actividad	24-30 Julio	31 Jul-6 Ago	7-13 Agosto	14-20 Agosto	21-27 Agosto	28 Ago-3 Set	4-10 Septiembre	11-17 Septiembre	18-24 Septiembre	25 Sept-10 Oct	2-9 Octubre	9-15 Octubre	16-22 Octubre	23-29 Octubre	30 Oct- 5 Nav	6-12 Noviembre	13-19 Noviembre	20-26 Noviembre
		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18
1	Inducción a la Empresa	■																	
2	Investigación acerca de narmar artipuladar para una operación razonable por parte de comentarar.	■	■																
3	Inspeccionar del filtra y análisis de puntar de medición y lugar de colocación del filtra		■	■															
4	Investigación acerca de calcular para un filtra de mangar y realización de lar mirarar.		■	■	■	■	■	■	■										
5	Reunión con el profesor tutar		■	■															
6	Realización del diseño del filtra ajustándala a lar medirar encontradar y al tipo de filtra adecuada.							■	■	■	■	■							
7	Selección de materialar adecuada y mangar para el filtra (material de la tela)											■	■						
8	Dibujar lar planar y especificar medirar y materialar en mada de rumen para construcción.										■	■	■	■	■				
9	Reunión con el profesor tutar y entrega del barradar final														■				
10	Fin de la practica en la empresa																■	■	
11	Preparación del barradar final		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
12	Envío del barradar final a un filáloa																■	■	
13	Exposición final del proyecto																		■

Figura 4. Cronograma de elaboración del proyecto.

Fuente: Elaboración Propia (Office Excel 2016).

### 3. CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Normativa.

Existe normativa que regula la emisión de contaminantes al ambiente para empresas industriales por lo que para el diseño de filtros de mangas se deben tomar en cuenta. La finalidad de tomar en cuenta las normas, es la de estar en los rangos propuestos por entes reguladores para una producción responsable con el ambiente.

##### 3.1.1. Reglamento de calidad de aire para contaminantes.

El reglamento de calidad de aire para contaminantes (Ejecutivo, 2016) estipula los siguientes artículos:

**Artículo 1.- Objetivo.** Este reglamento tiene por objeto establecer la organización y funcionamiento de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad de Aire; así como los valores máximos de concentración de contaminantes presentes en el aire, con el fin de asegurar el derecho de los habitantes del país a gozar de una calidad del aire que garantice la protección de la salud y el bienestar humano.

**Artículo 8.- Determinación del cumplimiento (a) 3.** Un sitio cumple con la norma anual de  $PM_{10}$  (partículas con diámetros menores a  $10 \mu m$ ) cuando el promedio anual de los valores diarios es menor o igual a  $30 \mu g/m^3$ .

Este reglamento fue actualizado el 1 de diciembre del 2016 con el objetivo que las industrias realicen sus procesos de manera responsable con el ambiente, en caso de no cumplir con lo estipulado en el reglamento, las industrias y/o empresas corren el riesgo de ser sancionados o bien ser clausurados hasta cumplir con el reglamento. Es por esto por lo que se vuelve fundamental un monitoreo de las concentraciones de los contaminantes y su mejora continua.

### 3.2. Ventilación Industrial.

Disponer de un aire limpio y sin contaminantes se ha vuelto de suma importancia en el ambiente de trabajo industrial no sólo por cuidar de la vida humana sino también para cumplir con lo estipulado por reglamentos gubernamentales. El riesgo potencial para la salud asociado a una sustancia presente en el aire está indicado por el TLV y este debe ser revisado anualmente para verificar o bien sustituir este valor y proteger a los trabajadores contra estas sustancias.

Como se indicó anteriormente, en Costa Rica las industrias cementeras deben cumplir con un TLV menor a  $30 \text{ mg/m}^3$  y así garantizar la salud de los trabajadores. En caso de no cumplir con esta normativa emitida por El Ministerio de Salud y el Poder Ejecutivo de Costa Rica, las empresas industriales se verán castigadas o bien su cierre parcial hasta cumplir con dicha normativa.

Según (Goberna, 1998) un sistema completo de ventilación debe incluir tanto un sistema de impulsión como un sistema de extracción; los cuales se emplean para impulsar aire a un lugar de trabajo, habitualmente templado y para eliminar los contaminantes generados por alguna operación, con la finalidad de mantener un ambiente de trabajo saludable. En este documento se hará énfasis a los sistemas de extracción.

#### 3.2.1. Definiciones básicas en ventilación.

Para determinar el flujo de aire se emplean una serie de definiciones básicas, uno de estos es la densidad del aire seco, a  $1 \text{ atm}$  y  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  su valor es de  $1,2 \text{ kg/m}^3$  valor que se obtiene de la ecuación de los gases ideales.

$$PV = nRT \quad \text{ó} \quad P = \frac{\rho RT}{M} \quad [3.1]$$

Dónde:

$P$ : presión absoluta,  $\text{atm}$

$V$ : Volumen,  $L$

$\rho$ : Densidad,  $kg/m^3$

$R$ : Constante de los gases ideales,  $L \cdot atm/K \cdot mol$

$T$ : Temperatura absoluta,  $K$

$n$ : Número de moles,  $mol$

$M$ : Masa molecular,  $kg/mol$

De la ecuación de los gases ideales se puede deducir que la densidad es inversamente proporcional a la temperatura a presión constante, por lo tanto, el aire seco a cualquier situación se puede determinar como:

$$\rho T = (\rho T)_{estandar} \quad [3.2]$$

De la ecuación 3.2 se puede determinar la densidad del aire seco para cualquier temperatura:

$$\rho = \rho_{estandar} \cdot \frac{T_{estandar}}{T} \quad [3.3]$$

En ventilación el flujo volumétrico o caudal es muy importante, y está definido como:

$$Q = A \cdot v \quad [3.4]$$

Dónde:

$Q$ : Caudal,  $m^3/s$

$A$ : Área o sección transversal,  $m^2$

$v$ : Velocidad,  $m/s$

El aire o cualquier otro fluido, circula siempre de las regiones de mayor presión a las zonas de menor presión cuando no existe aporte de energía (un ventilador). Cuando una masa se encuentra en movimiento, esta tiene tres distintas presiones

distintas, pero matemáticamente relacionadas entre sí. Estas son la presión estática ( $P_E$ ), la presión dinámica ( $P_D$ ) y la presión total ( $P_T$ ).

La relación entre la presión dinámica y la velocidad de un fluido viene dada por:

$$v = (4,43) \cdot \sqrt{\frac{P_D}{\rho}} \quad [3.5]$$

O bien:

$$P_D = \rho \cdot \left(\frac{v}{4,43}\right)^2 \quad [3.6]$$

Por lo tanto, la presión total puede ser calculada como:

$$P_T = P_E + P_D \quad [3.7]$$

El flujo de aire en ventilación industrial está gobernado por dos principios básicos de la mecánica de fluidos los cuales son la conservación de la masa y conservación de la energía. A partir de estos términos se resuelven las siguientes hipótesis para diseños en ventilación industrial:

1. Se desprecian los efectos de intercambio térmico; es decir que la diferencia de temperatura dentro y fuera de los conductos no es significativa, por lo tanto, no existe un intercambio de calor.
2. Se considera que el aire es incompresible.
3. Se supone aire seco.
4. Se ignoran peso y volumen del contaminante presente en el flujo del aire.

Una vez consideradas las hipótesis anteriores se determina que el balance neto del flujo másico debe ser nulo, es decir, la densidad del fluido permanecerá constante por lo que el balance neto del flujo volumétrico (caudal) deberá ser cero.

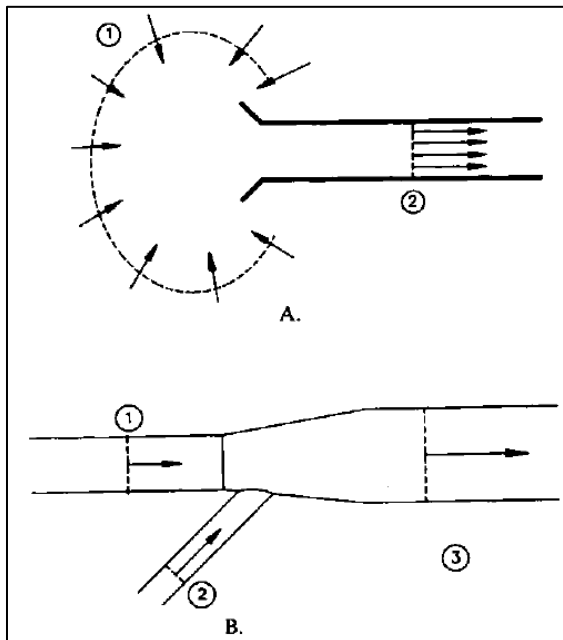


Figura 5. Balance de flujo volumétrico, A. Un solo ramal, B. Dos ramales.

Fuente: (Goberna, 1998).

Por lo tanto, se obtienen las siguientes expresiones:

$$A. \quad Q_1 = Q_2 \quad [3.8]$$

$$B. \quad Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad [3.9]$$

### 3.3. Métodos para el control de la contaminación por polvo.

Según (Goberna, 1998) los depuradores de aire o filtros de aire son equipos que eliminan las partículas contaminantes de una corriente de aire o gas. Existen muchos tipos de diseños capaces de cumplir con los requisitos de depuración de aire. La eficiencia del equipo, cantidad de partículas a remover y características del contaminante son condiciones que influyen en la selección del equipo adecuado.

Para contaminantes particulados, los sistemas de depuración se dividen en dos grupos: los filtros de aire y los captadores de polvo. Los filtros de aire están diseñados para captar concentraciones de polvo bajas, del orden de tamaños que

existen en la atmosfera donde rara vez superan los  $2 \text{ mg/m}^3$  y generalmente son inferiores a  $0,2 \text{ mg/m}^3$ . Los captadores de polvo son diseñados generalmente para la captación de partículas más grandes, tales como las presentes en instalaciones industriales en donde las concentraciones pueden ser menores a  $200 \text{ mg/m}^3$  y hasta mayores a los  $4000 \text{ mg/m}^3$ .

Existen 5 tipos principales captadores de polvo, los cuales se explican detalladamente a continuación:

### **3.3.1. Cámaras de sedimentación.**

Son los recolectores de partículas más sencillos, estos dependen de la sedimentación gravitacional como mecanismo de recolección. Estos equipos previenen la abrasión excesiva y la carga de partículas en los dispositivos primarios ya que remueven las partículas de mayor tamaño de corrientes de aire por medio de la fuerza de gravedad. Sin embargo, su eficiencia se reduce considerablemente para partículas con tamaños menores a los  $50 \mu\text{m}$ .

Existen dos tipos principales de cámaras de sedimentación:

*Cámara de expansión:* en estos tipos la velocidad de la corriente del aire seco es reducida significativamente a medida que el gas se va expandiendo hacia el interior de una cámara de gran tamaño. La reducción de la velocidad permite que las partículas de gran tamaño se asienten, logrando separarlas de la corriente de aire.

*Cámara de placas:* es una cámara con un número de placas delgadas y colocadas a una corta distancia entre sí, esto causa que el aire fluya horizontalmente entre ellas, mientras que el gas se incrementa ligeramente en una cámara de este tipo. Una cámara de expansión debe ser de gran tamaño para recolectar partículas pequeñas; mientras que las con placas múltiples tienen menores requisitos para la recolección de partículas pequeñas.

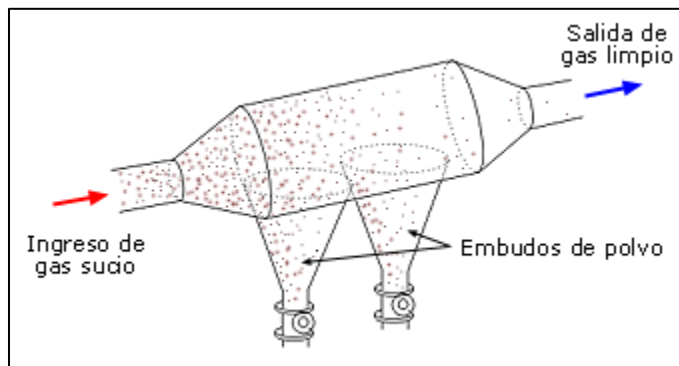


Figura 6. Cámara de sedimentación por expansión.

Fuente: (Woodard, 1998).

### 3.3.2. Separadores ciclónicos.

Los separadores ciclónicos utilizan la fuerza centrífuga del gas para por medio de la inercia remover las partículas de una corriente de gas giratoria. La corriente del gas es forzada a girar dentro de la cámara, generalmente cónica creando un vórtice dentro del cuerpo ciclón. Se utilizan principalmente para partículas mayores a  $25 \mu m$  con eficiencias del 95% a 99%, y partículas entre  $5$  y  $20 \mu m$  con eficiencias entre el 50% y 80%.

Las partículas en la corriente del gas son forzadas hacia las paredes del ciclón por la fuerza centrífuga, pero estas son obstruidas por la fuerza de arrastre de fluidos del gas que viajan hacia afuera del ciclón por lo que, para las partículas más grandes, el momento inercial es contrarrestado y causa que las partículas de mayor tamaño abandonen la corriente del fluido.

Los separadores ciclónicos son clasificados de acuerdo con la manera en que la corriente del gas es introducido y descargado:

- Entrada tangencial, descarga axial.
- Entrada axial, descarga axial.
- Entrada tangencial, descarga periférica.



- Entrada axial, descarga periférica.

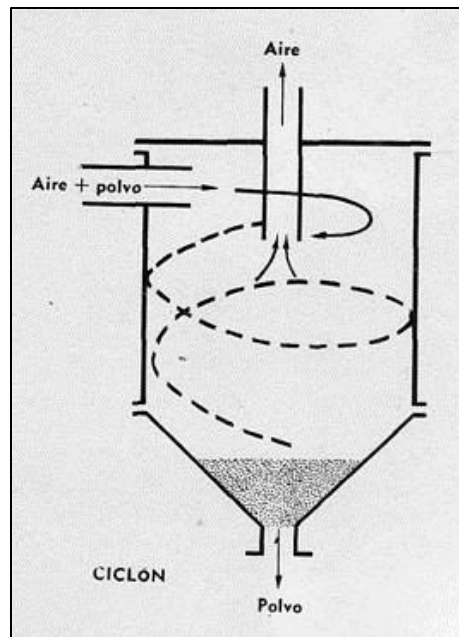


Figura 7. Principio de funcionamiento de un separador ciclónico.

Fuente: <https://historiaybiografias.com/centrifugacion/>

### 3.3.3. Colectores húmedos.

Según (Woodard, 1998), los colectores en húmedo son equipos que dependen del contacto directo e indirecto con un líquido y las partículas a retener. Con la ayuda del rocío del líquido en la corriente de gas se logra aumentar el tamaño y la masa de la partícula lo que facilita su separación de la corriente de aire. La principal problemática de este método de separación es cuando se ocupa que la materia o corriente del gas este en estado seco.

La recolección por impactación inercial en los limpiadores en húmedo ocurre como resultado de un cambio en la velocidad de las partículas suspendidas en la corriente del gas, a medida que el gas se acerca a un obstáculo, tal como una gota líquida, el gas cambia de dirección y fluye alrededor de la gota. Las partículas

mayores a  $10 \mu m$  son recolectadas fácilmente, por impactación inercial pero las partículas  $< 1 \mu m$  son más difícil de recolectar por este método.

La recolección por difusión y la más utilizada, ocurre como resultado tanto del movimiento de los fluidos, así como del movimiento browniano (al azar) de las partículas. Se utiliza principalmente para partículas con tamaños menores a los  $0,1 \mu m$ .

En la figura 8 se muestra el principio de funcionamiento de este tipo de colectores de polvo, son de un mantenimiento sencillo, sin embargo, están limitado a aplicaciones donde las partículas recolectadas no sean parte del proceso productivo.

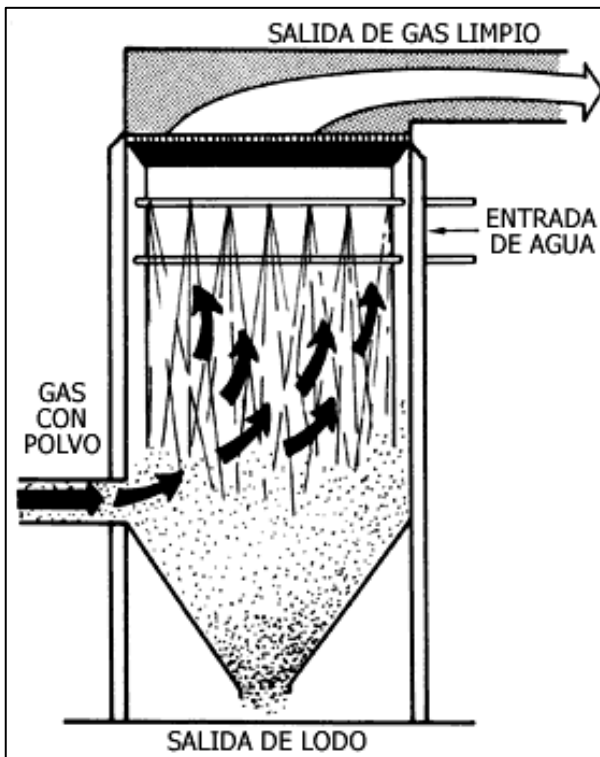


Figura 8. Principio de funcionamiento de un colector húmedo.

Fuente: [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec\\_11.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec_11.htm)

### 3.3.4. Precipitador electrostático.

En este tipo de colector de partículas la recolección se da por medio de la precipitación electrostática induciendo un campo eléctrico a la corriente del gas.

“El campo eléctrico se desarrolla en el espacio inter-electrónico de un precipitador electrostático y sirve un propósito triple. Primero el alto campo eléctrico alrededor de un electrodo de descarga causa la generación de iones cargantes en una corriente eléctrica; segundo, el campo proporciona la fuerza motriz que impulsa a estos electrones a chocar con las partículas e impartirles su carga; y tercero, proporciona la fuerza que impulsa el particulado cargado hacia el electrodo para su remoción de la corriente de gas efluente” (Woodard, 1998).

Al verse involucrados estos tres factores en un precipitador electrostático, se produce la separación de partículas con tamaños entre los  $0,05$  y  $20 \mu m$  con eficiencias de hasta el 99%. Sin embargo, la principal problemática en este tipo de colector es el alto costo de inversión y mantenimiento, así como la peligrosidad al verse involucrados campos magnéticos.

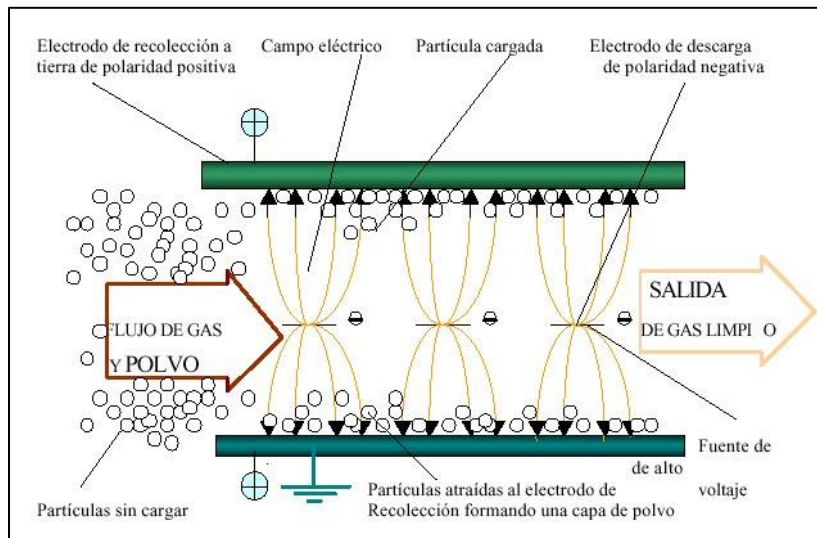


Figura 9. Principio de funcionamiento de un precipitador electrostático.

Fuente: <http://daniel-fisica3ur.blogspot.com/2010/07/precipitador-electrostatico.html>

### 3.3.5. Filtros de mangas.

Según (Londoño, 2008) la función principal de un filtro de mangas consiste en recoger las partículas sólidas que arrastra una corriente de aire, haciéndola pasar por un tejido especial en el cual quedan retenidas dichas partículas. Está compuesta por una estructura metálica diseñada según dimensiones adecuadas al proceso y la cantidad de partículas sólidas a retener; las mangas o telas se seleccionan a partir de un material compatible con el gas para obtener una retención de las partículas más eficiente. Los filtros de mangas constan de tubos redondos colocados en una serie de hileras colocadas en soportes y encerrados en un compartimiento metálico.

Los filtros de mangas son los sistemas colectores de partículas más eficientes, su eficiencia se encuentra entre el 99% y 99,9% y puede ser calculado mediante la ecuación 3.10, para partículas entre los 0,05 y 20  $\mu m$  están limitados a trabajar con aire seco y su mantenimiento es sencillo.

$$\eta_{colector} = \frac{C_{entrada} - C_{salida}}{C_{entrada}} \cdot 100\% \quad [3.10]$$

Dónde:

$\eta_{colector}$ : Eficiencia del colector

$C_{entrada}$ : Concentración de partículas a la entrada del filtro,  $mg$

$C_{salida}$ : Concentración de partículas a la salida del filtro,  $mg$

Una vez que las mangas han recolectado la mayor cantidad de partículas sólidas, el proceso de extracción de este se puede realizar de forma manual o automática:

*Método manual:* consiste en la extracción de las mangas del filtro y realizar la limpieza de forma manual. Sin embargo, este método no es utilizado en lugares donde se requiera extraer una gran cantidad de partículas debido a que es complicado mantener en un solo punto las partículas recolectadas.

*Método automático:* en este sistema de extracción de partículas, el proceso se realiza por medio varios mecanismos como, por ejemplo: limpieza por agitación mecánica, limpieza por aire a contracorriente o aire a la inversa y por aire a presión (pulse-jet) como los métodos automáticos más utilizados. Sin embargo, todos los procesos son controlados por medio de un programador que envía señales para realizar la limpieza.

En la figura 10 se muestra uno de los diseños más utilizados para filtros de mangas.

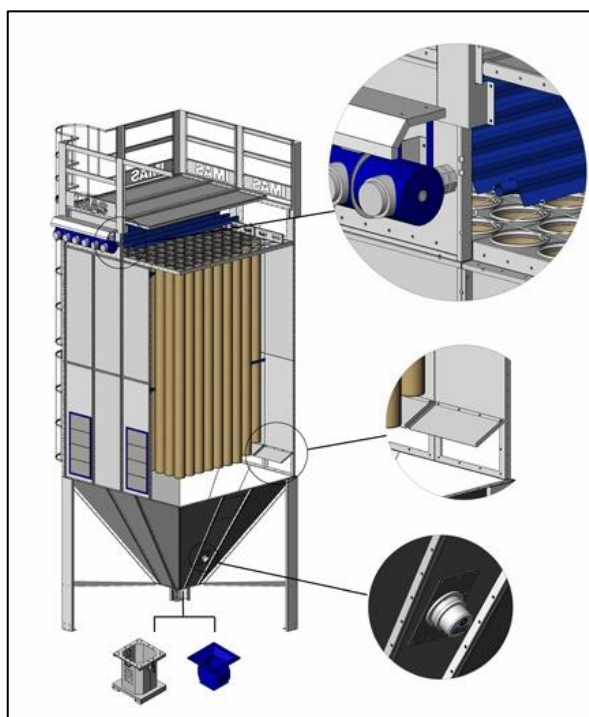


Figura 10. Filtro de mangas con extracción de partículas por aire comprimido.

Fuente: <http://www.imas.it/es/filtriManiche.asp>

### 3.3.5.1. Medios filtrantes.

“Los medios filtrantes pueden ser telas tejidas o de fieltro. Las telas tejidas representan una estructura de truncamiento según patrones establecidos; los más comunes son tejido diagonal y el tejido satín” (Londoño, 2008).

Con estos tejidos lo que se logra es aumentar o disminuir los espacios en las fibras incluyendo resistencia y permeabilidad de la tela que se relaciona con la cantidad de aire que es filtrada para una determinada caída de presión. Las telas de fieltro están compuestas generalmente por un soporte tejido y un recubrimiento de fibras superpuestas en forma catódica la cual permite más eficiencia en el proceso de captación de partículas.

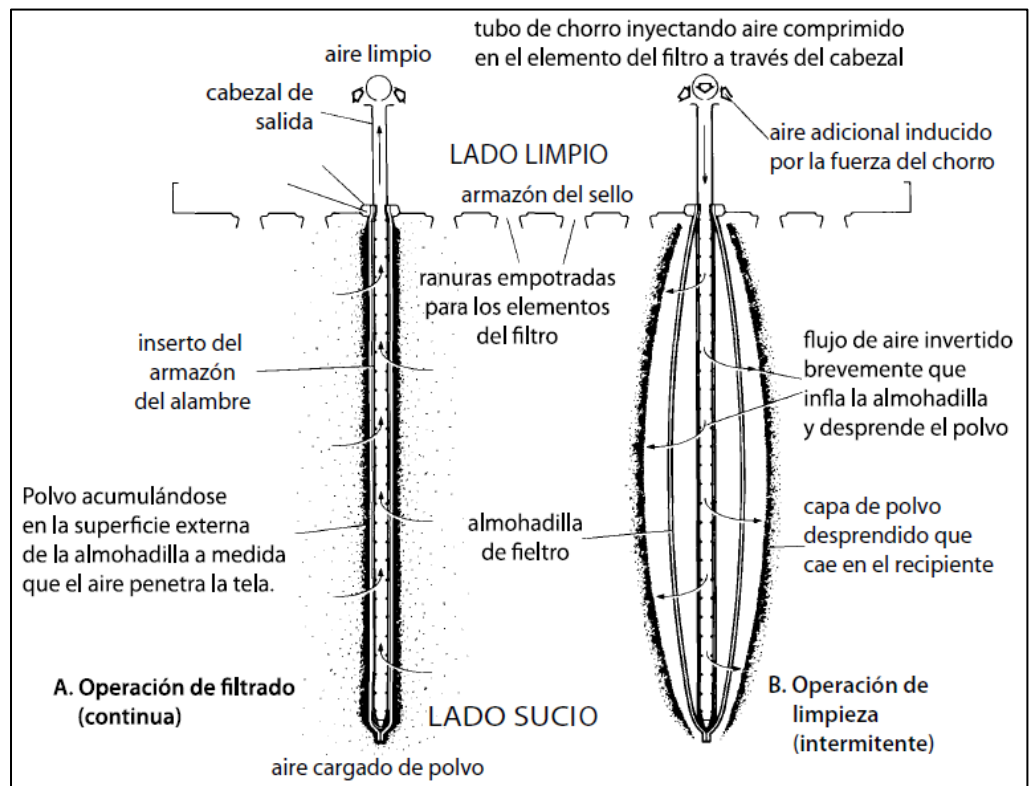


Figura 11. Principio de funcionamiento del medio filtrante.

Fuente: (Swinderman, 2009).

La selección de la tela de la manga depende de la composición química, temperatura y humedad del gas en el que se encuentra la partícula, como la

composición química y física de estas. Esto se debe a que la composición química tanto de la partícula como del gas desgasta la tela, sin embargo, se debe tener como consideración que el comportamiento de la tela se aprecia solamente cuando está en contacto con la corriente gaseosa y las partículas sólidas. En la tabla 2 se muestran las características más importantes de los tipos de telas utilizados en la fabricación de las mangas para dichos filtros.

**Tabla 2.** Propiedades de materiales usados en filtros de mangas.

Tela	Temperatura (°C)		Resistencia				
	Continua	Picos	Ácidos	Bases	Abrasión	Tensión	Combustión
Algodón	82	107	Deficiente	Muy buena	Muy buena	Buena	Sí
Dacrón	122	163	Buena	Muy buena	Muy buena	Excelente	Sí
Fibra Vidrio	260	288	Regular	Regular	Buena	Buena	Sí
Poliéster	135	150	Buena	Excelente	Muy Buena	Excelente	Sí
Nomex	190	218	Mala	Excelente	Muy buena	Muy buena	No
Nylon	92	121	Mala	Excelente	Excelente	Excelente	Sí
Orlón	127	127	Excelente	Regular	Buena	Buena	Sí
Polipropileno	92	94	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Sí
Teflón	232	288	Excelente	Excelente	Regular	Buena	No
Lana	92	121	Muy buena	Deficiente	Regular	Regular	No
Acrílico	127	137	Buena	Regular	Buena	Buena	Sí
Polietileno	65	100	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Sí
Acetato	71	-	Mala	Mala	Buena	-	No
Rayón	94	-	Mala	Regular	Buena	-	Sí
Cerámica	900	1000	-	-	-	-	

Fuente: (Londoño, 2008) y (Goberna, 1998).

### 3.3.5.2. Velocidad de filtración.

Para tener una filtración eficiente de partículas la velocidad de filtración del fluido debe estar en un rango de 0.005 a 0.06 m/s como se observa en la tabla 3, sin embargo, la velocidad de filtración está determinada por varios factores como lo son la operación, tipo de limpieza, el caudal, cantidad de compartimientos y

principalmente, al tipo de material de la tela (tela tejida o fieltro). Por otro lado, se debe tener en cuenta que estos rangos de velocidades varían del proceso productivo al cual se requiere filtrar aire contaminado por polvo.

La velocidad de filtración es también conocida como la relación aire/tela, la cual se denomina como el flujo volumétrico de aire que recorre una corriente de aire por unidad de área de la tela [ $(m^3/s)/m^2$ ]. Es de suma importancia seleccionar la velocidad de filtración adecuada, esto con el fin de garantizar una caída de presión no mayor a los 150 *mmcda*.

**Tabla 3.** Resumen de filtros de mangas y sus características.

	<b>OPERACIÓN DISCONTINUA</b> Concentraciones bajas y medias	<b>OPERACIÓN DISCONTINUA</b> Concentraciones altas		<b>OPERACIÓN CONTINUA</b> Cualquier concentración	
<b>Requerimientos de limpieza de tela</b>	Intermitente	Continuo			
<b>Tipo de limpieza</b>	Vibrador	Vibrador	Aire inverso (baja presión)	Inverso pulsante (alta presión) – aire comprimido - ventilador	
<b>Configuración del depurador</b>	Un compartimiento	Múltiples compartimientos con válvulas en la entrada o la salida de cada uno		Un compartimiento	
<b>Configuración del medio filtrante</b>	Mangas o bolsas	Mangas o bolsas	Mangas	Mangas o bolsas	Plegado en cartucho
<b>Tipo de tela</b>	Tejido	Tejido		Fieltro	Fieltro (lamina de papel)
<b>Caudal de aire</b>	Muy variable	Ligeramente variable		Prácticamente constante	Prácticamente constante
<b>Rango del caudal específico de filtrado (m/s)</b>	0,005 a 0,030	0,005 a 0,015	0,005 a 0,010	0,025 a 0,060	< 0,005 a 0,012

Fuente: (Goberna, 1998)

La velocidad de filtrado no es el único dato importante en el diseño de filtros de mangas, también se debe considerar la velocidad que atraviesa los ductos, la velocidad de entrada a las campanas y la velocidad a la entrada del filtro (entrada de



aire sucio). Esta velocidad también está determinada por varios factores como lo son la operación o proceso y el tipo de campana. En la tabla 4 se observan algunas velocidades de captura en las campanas para algunas aplicaciones.

**Tabla 4.** Características de algunas operaciones en ventilación industrial.

Operación o proceso	Ventilación		Velocidad mínima en el ducto (m/s)
	Tipo de campana	Caudal o velocidad de captura (m/s)	
<b>Cerámica</b>	Encerramiento	1	18
<b>Granalladora giratoria</b>	Encerramiento	0,75 a 1	18
<b>Máquinas de papel</b>	Campana de techo	1 a 1,5	7,5
<b>Trituradoras y molinos</b>	Encerramiento	1 (en aberturas)	18

Fuente: (Goberna, 1998).

### 3.3.5.3. Sistemas de limpieza.

Como se mencionó anteriormente, los sistemas de limpieza se pueden realizar de manera manual o automática, sin embargo, por eficiencia en la producción se hace énfasis a los sistemas automáticos.

Según (EPA, 2002) los filtros de manga presentan tres tipos de limpieza principales los cuales son: limpieza por agitación, limpieza por aire a la inversa y limpieza por pulso (pulse-jet).

*Limpieza por agitación:* este tipo de limpieza se realiza con flujo del gas del interior hacia el exterior de la tela, la transferencia de energía se logra al hacer oscilar la bolsa de tela por medio de un motor. Este movimiento crea una onda sinusoidal en la tela lo que provoca el desprendimiento de las partículas de polvo.

Los parámetros que afectan este tipo de limpieza son la frecuencia del movimiento y la tensión de la manga. Los valores típicos son alrededor de 4 Hz para la frecuencia y de 2 a 3 pulgadas para la amplitud, algunas instalaciones permiten

mayor facilidad en los ajustes de la tensión de las mangas mientras que otros sistemas requieren el desmontaje de la manga.

Su principal problemática es la amplitud, ya que al crear una onda este requiere de una distancia adecuada entre mangas para evitar el contacto entre ellas, lo que implica tener un compartimiento más robusto para este tipo de limpieza. En la figura 12 se observa un filtro de mangas con limpieza por agitación.

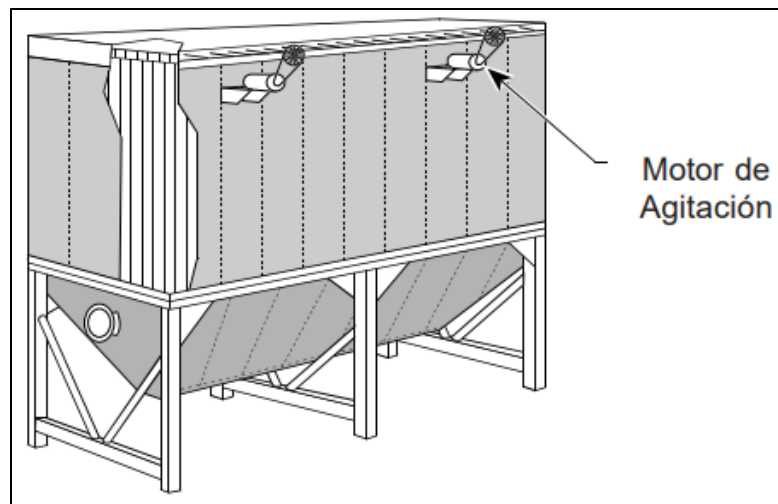


Figura 12. Limpieza de filtro de mangas por agitación.

Fuente: (EPA, 2002).

*Limpieza con aire a la inversa:* en este tipo de limpieza el flujo del gas que está siendo limpiado es interrumpido en un compartimiento aparte por un flujo de aire inverso, este flujo de aire es dirigido a través de las bolsas lo que causa que el polvo incrustado en las bolsas se desprenda de ella. Este desprendimiento es causado por fuerzas cruzadas tipo tijeras que se desarrollan entre el polvo y la manga a medida que esta va cambiando de forma.

Las tapas metálicas utilizadas para sostener la parte superior de las mangas son una parte fundamental de esta, como también varios anillos que rodean la

manga para prevenir su colapso durante la limpieza. Los anillos evitan que se acumule el polvo que cae y que la misma manga se pliegue mientras es limpiada.

La fuente de aire en este tipo de limpieza es proporcionada por un ventilador aparte del sistema, capaz de suministrar aire limpio y seco a los compartimientos. En la figura 13 se observa el principio de funcionamiento de la limpieza por aire a la inversa en los filtros de manga; su principal problemática es el alto costo, ya que se requiere de un sistema aparte para realizar la limpieza.

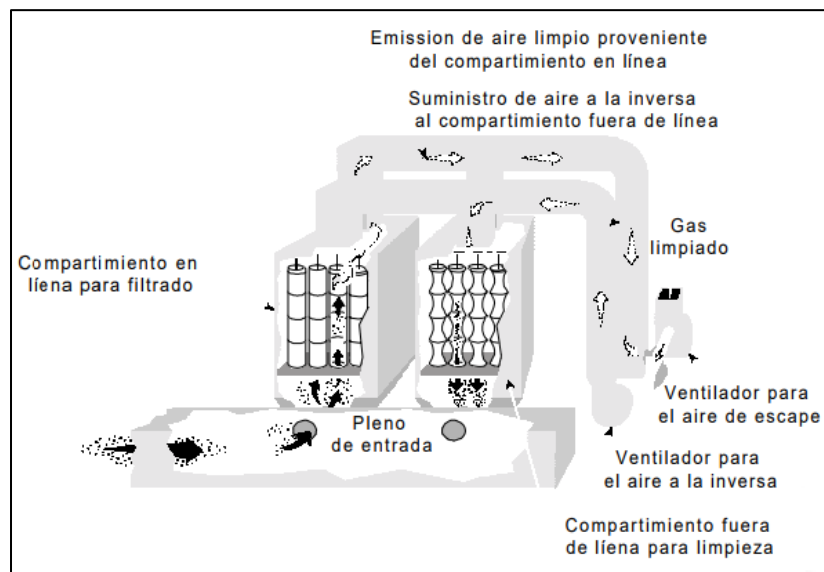


Figura 13. Limpieza de filtro de mangas por aire a la inversa.

Fuente: (EPA, 2002).

*Limpieza por aire pulsante (pulse-jet):* en esta forma de limpieza se utiliza aire comprimido para forzar que el polvo descienda a través de la bolsa y la expanda violentamente. La ventaja de este método con respecto a los anteriores es la reducción del tamaño del medio filtrante lo que implica una menor área del filtro, por lo tanto, un menor costo; además, no requiere un compartimiento adicional para limpieza.

Sin embargo, las relaciones altas de aire-tela causan grandes caídas de presión lo que implica que aumenten los costos de operación ya que se tiende a forzar más los ventiladores y operar sobre su curva característica. Sus principales variables son la presión del pulso de aire comprimido, la duración del pulso y el lapso entre cada limpieza, en la figura 14 se observa un filtro de mangas con limpieza por aire pulsante.

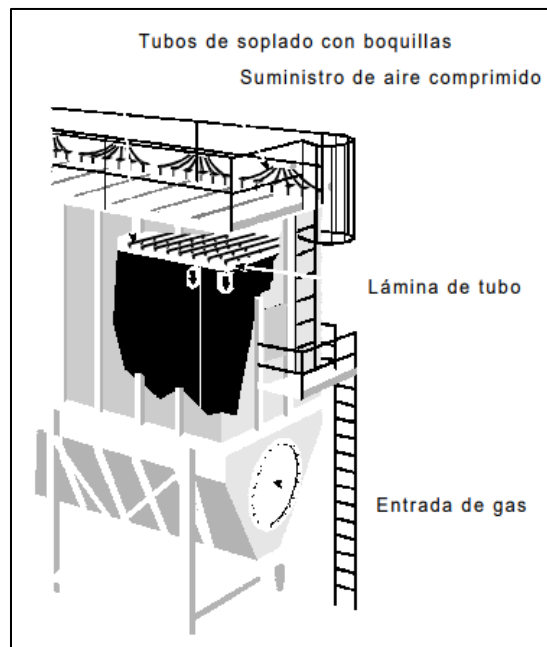


Figura 14. Limpieza de filtro de mangas por aire comprimido tipo pulse-jet.

Fuente: (EPA, 2002).

### 3.4. Ventilación localizada.

Según (Swinderman, 2009) son sistemas de ventilación localizada son diseñados principalmente para captar y eliminar contaminantes antes de que se difundan en el ambiente o en el lugar de trabajo como por ejemplo, el polvo. La concentración de polvo en el aire es sumamente importante para los diseños de extracción, esto porque el polvo puede estar contenido en el aire en diferentes tamaños, estas varían de las  $0,2 \mu m$  a  $100 \mu m$ .

### 3.4.1. Sistemas de ventilación por extracción.

Los sistemas de ventilación por extracción se clasifican en:

*Sistemas de Extracción General:* pueden ser empleados para el control del ambiente térmico y/o para eliminar contaminantes generados en un área de trabajo, mediante el barrido de un espacio generado con grandes cantidades de aire.

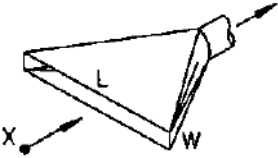
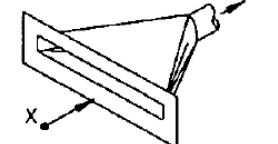
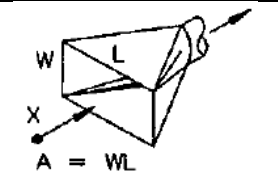
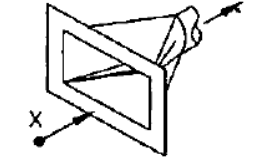
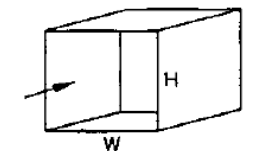
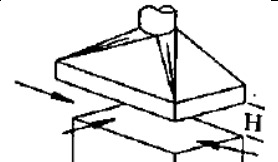
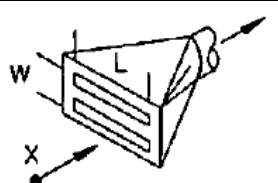
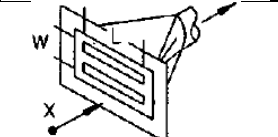
*Sistemas de Extracción Localizada:* se basan en el principio de capturar el contaminante en su base o muy cerca del origen en el que se produce; es un método muy eficiente y al ser empleado con caudales más pequeños, redundan en menores costes de calefacción con respecto a los elevados caudales requeridos por sistemas de extracción general.

Para estos sistemas de extracción es muy importante el diseño de la campana, su principal función es crear un flujo de aire que capture el contaminante junto con el gas y lo transporte hacia ella. Según (Goberna, 1998) todos los sistemas de extracción localizada, desde el más simple al más complejo, tienen en común el uso de campanas para la captación del fluido y existen dos métodos para el diseño de estas:

- Método de la presión dinámica
- Método de la longitud equivalente

Ambos métodos consisten en el cálculo de las pérdidas por fricción y accesorios en los ductos, la diferencia es que en el método de la presión dinámica se toma un factor de accesorios y en el método de la longitud equivalente se sustituye el accesorio por un conducto que tenga la misma pérdida de carga que el accesorio.

**Tabla 5.** Tipos de campana para extracción localizada.

Tipo de campana	Descripción	Factor de forma	Caudal
	Rendija	0,2 o menos	$Q = 3,7 LXv$
	Rendija con pestaña	0,2 o menos	$Q = 2,6 LXv$
	Campana simple	0,2 o superior y circular	$Q = v(10X^2 + A)$
	Campana simple con pestaña	0,2 o superior y circular	$Q = 0,75v(10X^2 + A)$
	Cabina	Adaptada a la operación	$Q = Av = WHv$
	Campana elevada	Adaptada a la operación	$Q = 1,4 PHv$ P: perímetro
	Rendija múltiple, dos o mas	0,2 o superior	$Q = v(10X^2 + A)$
	Rendija múltiple con pestaña, dos o mas	0,2 o superior	$Q = 0,75v(10X^2 + A)$

Fuente: (Goberna, 1998).

### **3.5. Ventiladores.**

“Para mover el aire a través de un sistema de ventilación o extracción localizada es necesario el aporte de energía para vencer las pérdidas de carga del sistema. Esta energía se puede aportar en forma de convección natural o de flotación, sin embargo, en la mayoría de sistemas se precisa de una maquina tal como el ventilador para mantener el movimiento del aire” (Goberna, 1998).

La necesidad de hacer que el fluido fluya es de suma importancia en los sistemas de extracción de polvo, por lo que el uso de ventiladores de extracción se vuelve indispensable para el proceso. La selección del ventilador implica no sólo elegir un ventilador que cumpla con los requisitos de presión y caudal, sino con aspectos de instalación incluyendo propiedades de la corriente de aire, la temperatura de operación, disposición de transmisión y limitantes de montaje.

Según (Goberna, 1998) los ventiladores se pueden clasificar en tres grandes grupos: axiales, centrífugos y especiales. Su diferencia radica en que los ventiladores axiales se utilizan cuando se necesitan caudales de aire importante con poca perdida de carga y los ventiladores centrífugo se utilizan cuando los caudales son pequeños y las pérdidas de carga son considerables en un sistema de ventilación.

#### **3.5.1. Ventiladores axiales.**

Existen tres tipos de ventiladores axiales:

*Ventiladores helicoidales:* se emplean para mover corrientes de aire con poca perdida de carga, su aplicación más común es la de ventilación general, (menos de 25 *mmcda*)

*Ventiladores tubulares:* disponen de una hélice de palas estrechas de sección constante o con perfil aerodinámico montada en una carcasa cilíndrica y generalmente no disponen de ningún mecanismo para enderezar el flujo de aire, (menos de 50 *mmcda*)

*Ventiladores tubulares con directrices:* tienen una hélice de palas con perfil aerodinámico montada en una carcasa cilíndrica que normalmente dispone de aletas enderezadoras de flujo de aire en el lado de impulsión de la hélice. Tienen rendimiento superior (hasta 200 *mmcda*) y son limitados a hacerles pasar aire limpio.

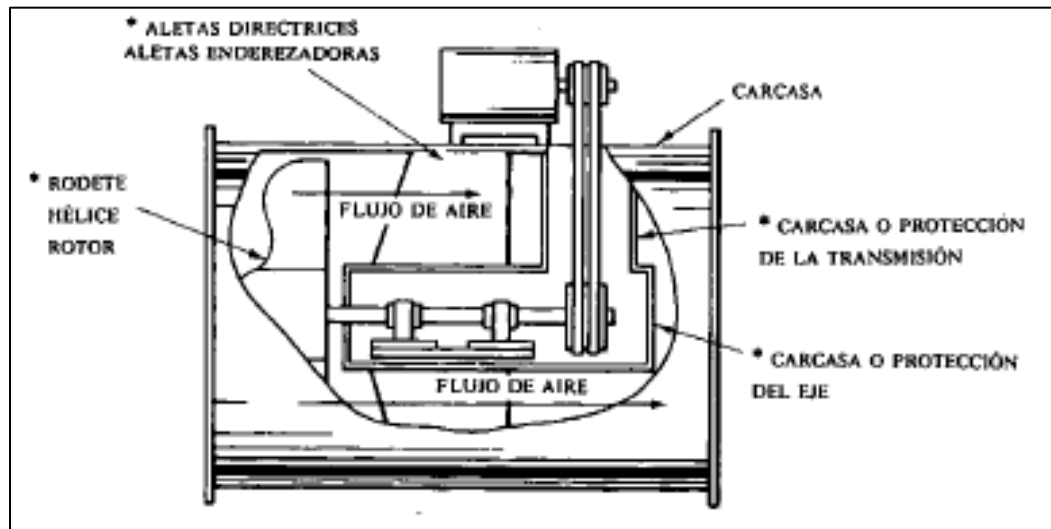


Figura 15. Terminología usual de los ventiladores axiales con directrices.

Fuente: (Goberna, 1998).

### 3.5.2. Ventiladores centrífugos.

Los ventiladores centrífugos tienen tres tipos básicos de rodets: palas curvadas hacia adelante, palas rectas y palas curvadas hacia atrás.

*Ventiladores de palas curvados hacia adelante:* también llamados jaula de ardilla, tienen una hélice o rodete en el cual las palas están curvadas en el mismo sentido que la dirección del giro. Normalmente, requieren de poco espacio, son silenciosos y se requieren cuando la presión estática es de baja a media tal como en sistemas de calefacción.

*Ventiladores de palas rectas o radiales:* poseen el rodete con las palas dispuestas de forma radial. La carcasa está diseñada de forma que a la entrada y a



la salida se alcanzan velocidades de transporte de material. Existen diseños que van desde alta eficiencia con poco material y de alta resistencia al impacto.

*Ventiladores de palas curvados hacia atrás:* tienen una hélice o rodete curvada en el sentido contrario a la dirección de rotación. Es el de mayor velocidad periférica y rendimiento, con niveles sonoros relativamente bajos.

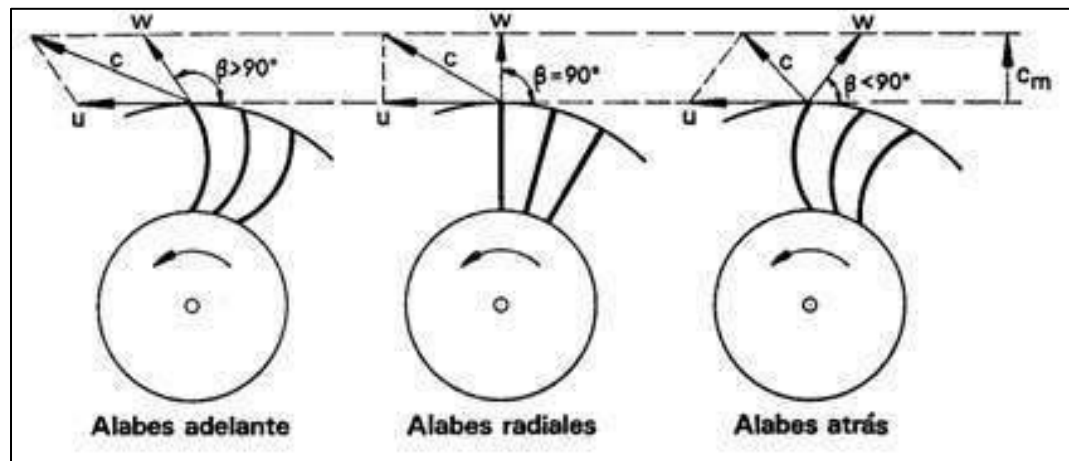


Figura 16. Ventiladores centrífugos con palas curvadas.

Fuente: (Goberna, 1998).

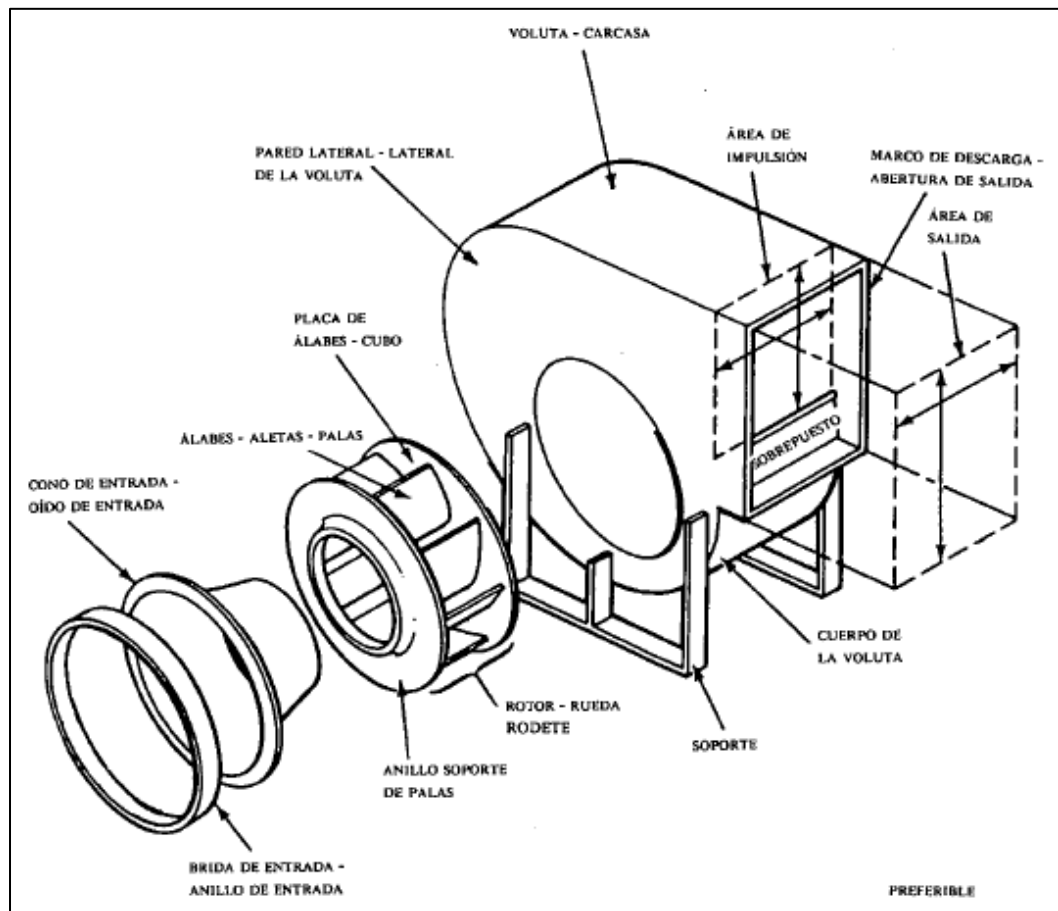


Figura 17. Terminología usual de los ventiladores centrífugos.

Fuente: (Goberna, 1998).

### 3.5.3. Curvas características de los ventiladores.

Según (Palau, 2012) la curva característica de un ventilador se obtiene dibujando en unos ejes de coordenadas los distintos valores de caudal-presión obtenidos mediante un ensayo de laboratorio. El ensayo de los ventiladores tiene como propósito principal determinar la capacidad del aparato para transferir la potencia del aire que mueve. Consiste en hacer funcionar al ventilador a régimen de giro constante, tomando como valores, diferentes caudales según sea la pérdida de carga que se debe vencer.

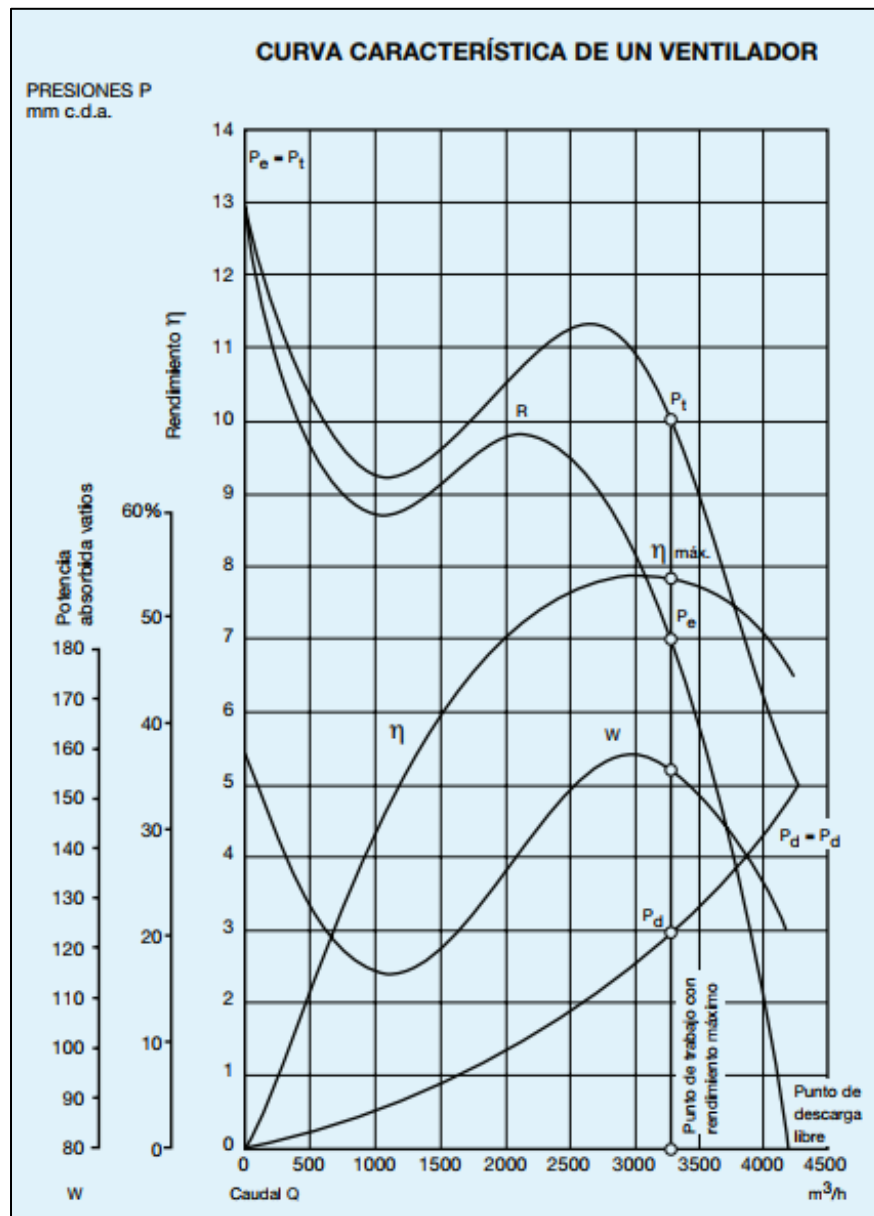


Figura 18. Curva característica de un ventilador.

Fuente: (Palau, 2012).

En la figura 18 se pueden observar distintas curvas donde cada una de ellas representa un valor distinto del ventilador (curva de potencia absorbida, curva de ventilador centrífugo, curva de rendimiento y curva de operación). Tres de ellas se

relacionan con la presión a la cual trabaja el ventilador, presión estática  $P_E$ , presión dinámica  $P_D$  y presión total  $P_T$ .

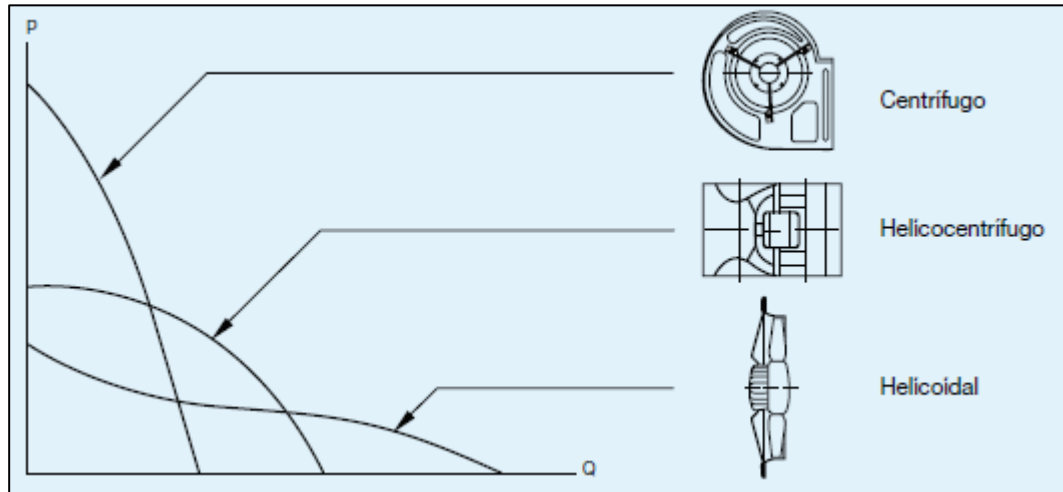


Figura 19. Forma de curva característica para diferentes tipos de ventiladores.

Fuente: (Palau, 2012).

La curva característica de un ventilador varía únicamente de este y varía según su velocidad de giro, pero un ventilador puede trabajar moviendo distintos caudales y presiones. Como se mencionó anteriormente la capacidad de un ventilador se relaciona con la pérdida de carga a vencer, es por lo que las longitudes de las tuberías, codos en los tramos y cualquier otro obstáculo representa una pérdida de carga a vencer por el ventilador. El caudal entregado por un ventilador es proporcional a la relación de velocidades, es decir:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left[ \frac{n_2}{n_1} \right] \quad [3.11]$$

Para conocer el punto de operación óptimo del ventilador, se debe conocer la curva de trabajo del sistema; una vez que se conocen ambas curvas, la intersección de la curva del ventilador con la curva del sistema determina el Punto de trabajo óptimo del ventilador, el cual se observa gráficamente en la figura 20.

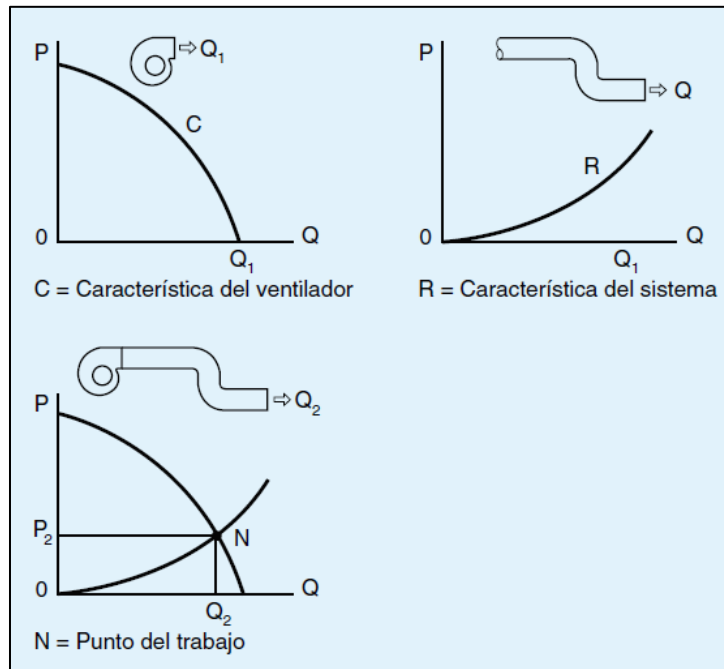


Figura 20. Punto de operación óptimo del ventilador.

Fuente: (Palau, 2012).

Para determinar la curva de operación del sistema, se debe relacionar la pérdida de carga en la tubería para distintos caudales entregados por el ventilador. Según (Palau, 2012) se comprueba que la pérdida de carga en el sistema varía proporcionalmente al cuadrado del cociente de los caudales, es decir:

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \cdot \left[ \frac{Q_2}{Q_1} \right]^2 \quad [3.12]$$

Así mismo, de la ecuación 3.10 se comprueba que:

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \cdot \left[ \frac{n_2}{n_1} \right]^2 \quad [3.13]$$

Por lo tanto, para encontrar la curva característica del sistema basta con tener una pérdida de carga  $\Delta P_1$  a un determinado caudal  $Q_1$  y suponer un segundo caudal para obtener un segundo dato de la pérdida de carga para ese caudal.

## 4. CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 4.1. Colector de polvo seleccionado.

Como se mencionó anteriormente, existen varios métodos para la colección de polvo, sin embargo, existen tipos de colectores que no son eficientes en algunas aplicaciones o bien no pueden ser utilizados del todo debido al grado de utilidad en la recolección de las partículas.

En la tabla 6 se realiza una comparación de los tipos de colectores donde se analiza el tamaño de partículas que colecta, eficiencia, forma de colección y el mantenimiento para determinar el método de colector de polvo más oportuno para la problemática planteada; cabe destacar que lo que se colecta es polvo de piedra caliza.

**Tabla 6.** Comparación de los métodos de colección de polvo.

Equipo	Partículas < 10 $\mu m$	Eficiencia 99,9%	Colección Seca y continua	Fácil Mantenimiento	Total
Cámaras de sedimentación	30 5	40 5	15 10	15 10	100 30
Separador ciclónico	30 10	40 10	15 10	15 10	100 40
Colector húmedo	30 30	40 15	15 7	15 13	100 65
<b>Filtro de mangas</b>	<b>30</b> <b>30</b>	<b>40</b> <b>40</b>	<b>15</b> <b>13</b>	<b>15</b> <b>12</b>	<b>100</b> <b>95</b>
Precipitador electrostático	30 30	40 35	15 13	15 7	100 85

Fuente: Elaboración propia (Office Word 2016).

Una vez analizadas las características de los métodos para colección de polvo se determina que para la problemática planteada la mejor opción es la utilización de **Filtros de Manga**, principalmente, por su alta eficiencia y colección de tamaños de partículas necesarias en el proceso.

En la siguiente figura se muestra el sistema actual del filtro de mangas en la empresa.

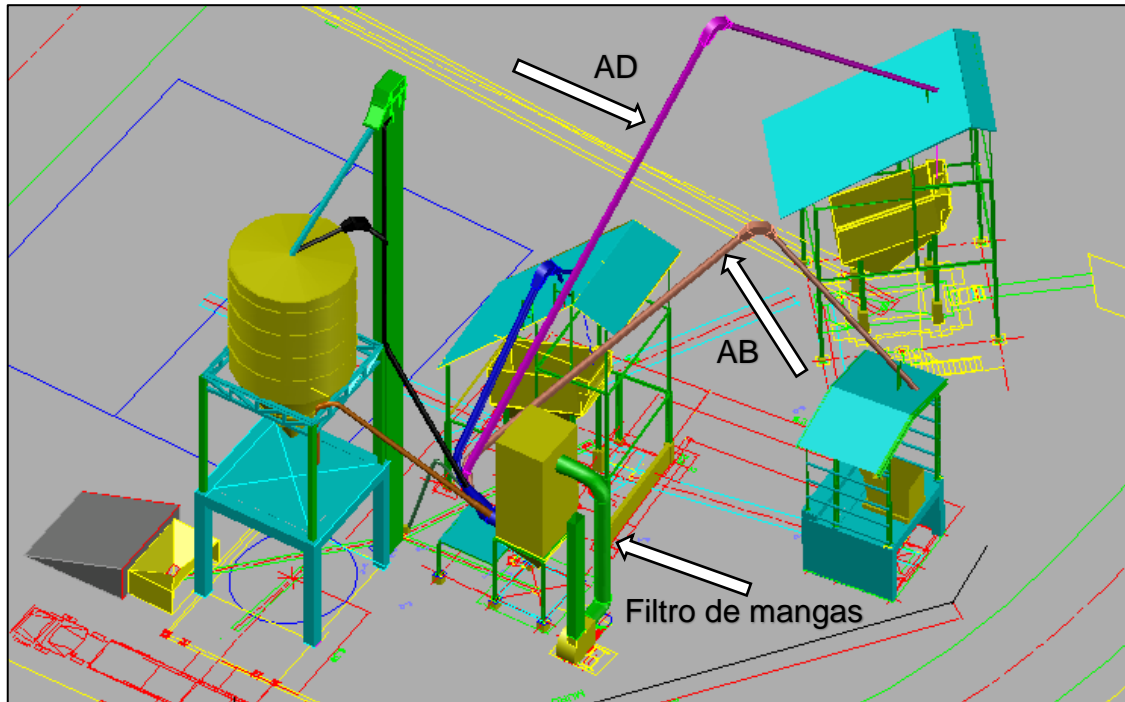


Figura 21. Sistema actual del filtro de mangas en premezclados.

Fuente: (CEMEX, 2017).

Según lo comentado con los ingenieros y observado en planta, la eficiencia del filtro no es la necesaria según lo establecido por el reglamento, ya que al hacerle la inspección al filtro; se observan en lapsos de tiempo (cuando las válvulas de desempolvo están todas abiertas) a la salida del ventilador grandes concentraciones de polvo, lo cual es una señal de que la colección no es eficiente.

Se debe recordar que, según el Reglamento de Calidad de Aire para Contaminantes, la concentración de polvo a la salida del filtro o bien la concentración a la que pueden estar expuestas las personas debe ser de  $30 \mu g/m^3$  o bien  $0,030 mg/m^3$  por lo que para cumplir con el 99,9% de eficiencia en el filtro, la concentración de entrada debe ser de  $30 mg/m^3$ , en el apéndice 2 se muestra el

cálculo de la eficiencia teórica de un filtro de mangas. La concentración de polvo actual en la planta no pudo ser medida ya que es un equipo especial que se coloca en ciertos puntos de la sección y genera mediciones anuales por parte del Ministerio de Salud, por lo que realiza una visita anual a la planta para tomar dichas mediciones.

#### 4.1.1. Caudal de entrada.

Ahora bien, al deberse a un rediseño del filtro, lo que se propone es remover del sistema actual, las tuberías con suposición de mayor pérdida de carga por longitud equivalente o bien las tuberías de desempolve que tengan una mayor longitud. En la figura 21 se observan las tuberías con mayor longitud, las cuales son las que serán removidas del sistema actual y colocadas en un nuevo filtro. En estos dos puntos de desempolve se lleva a cabo el proceso de reducir el tamaño de la piedra caliza para ser enviados a la nave de materias primas por medio de un triturador secundario.

Utilizando la ecuación 3.9 y los datos teóricos de la tabla 4 donde la velocidad en los ductos de desempolve de trituradoras y molinos debe ser de al menos 18  $m/s$  según (Goberna, 1998); sabiendo lo anterior se puede determinar el caudal de entrada del filtro propuesto, por lo tanto, se tiene:

$$Q_{entrada} = Q_{AB} + Q_{AD} + Q_{Prev 1} + Q_{Prev 2}$$
$$Q_{entrada} = \frac{\pi}{4} \cdot v \cdot (D_{AD}^2 + D_{AB}^2 + D_{prev 1}^2 + D_{prev 2}^2)$$

En el diseño del caudal de entrada del filtro se consideran dos previstas de 205  $mm$  de diámetro en caso de agregar más puntos de desempolve en un futuro. Los diámetros de las tuberías AD y AB son medidas en campo las cuales son 305  $mm$  y 355  $mm$  respectivamente, por lo tanto, el caudal a la entrada del filtro es calculado como:



$$Q_{entrada} = \frac{\pi}{4} \cdot (18) \cdot [(0,305)^2 + (0,355)^2 + (0,205)^2 + (0,205)^2] = 4,285 \text{ m}^3/\text{s}$$

Y por políticas de la empresa, se debe considerar en diseños de filtros de mangas un factor de diseño CEMEX de 1,5 entonces:

$$Q_{entrada} = (4,285) \cdot 1,5 = 6,428 \text{ m}^3/\text{s}$$

O bien:

$$Q_{entrada} = 385,65 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_{entrada} = 13609 \text{ cfm}$$

Se debe tener en cuenta que los cálculos anteriores están basados en condiciones de entrada. El caudal de diseño un filtro de mangas se debe seleccionar en *icfm* y corregir a condiciones actuales (*acfm*) (para garantizar que el sistema se adapta a la presión y temperatura de trabajo) mediante la siguiente corrección:

$$acfm = icfm \cdot \frac{P_1}{P_F} \cdot \frac{T_F}{T_1} \quad [4.1]$$

Dónde:

*acfm*: Pies cúbicos por minutos actuales

*icfm*: Pies cúbicos por minutos a la entrada

$P_1$ : Presión a la entrada del filtro

$P_F$ : Presión a la salida del filtro

$T_F$ : Temperatura a la salida del filtro

$T_1$ : Temperatura a la entrada del filtro

Considerando que la temperatura a la salida del filtro es igual a la temperatura de entrada y que la presión a la salida del filtro no varía en grandes cantidades con

relación a la presión de entrada, entonces los  $acfm = icfm$  para esta aplicación en particular.

Como se puede observar en el apéndice 1, si no se consideraran las previstas el caudal necesario para desempolvo sería de  $4,645 \text{ m}^3/\text{s}$  y calculando el caudal de diseño por puntos de desempolvo se obtiene un caudal de  $4,348 \text{ m}^3/\text{s}$  lo que prueba que existe la posibilidad que el filtro de mangas actual se diseñó por puntos de desempolvo.

#### **4.1.2. Área del filtro de mangas.**

Es importante recordar el concepto de relación Aire-Tela o bien la velocidad de filtración, según (Goberna, 1998) en la tabla 3 para filtros de mangas con operación continua y de un compartimiento que utilizan ventiladores, la velocidad de filtración se debe encontrar en un rango de  $0,025$  y  $0,06 \text{ m/s}$  y según diseñadores de CEMEX se recomienda una velocidad de filtración menor a los  $0,03 \text{ m/s}$ , por lo tanto, se utilizara una velocidad de filtración de  $0,025 \text{ m/s}$  como dato más conservador de diseño. Así mismo, con la ayuda de la ecuación 3.4 se puede determinar el área del filtro de mangas:

Despejando:

$$A_{\text{filtro}} = \frac{Q_{\text{entrada}}}{v_{\text{filtración}}} = \frac{6,428}{0,025} = 257,1 \text{ m}^2$$

El dato del área del filtro será importante más adelante para la selección de la cantidad de mangas para la colección de polvo.

#### **4.2. Selección del medio filtrante o mangas.**

Como se mencionó en la sección 3.3.5.1 el material de la manga filtrante es de mucha importancia para el proceso. Como se muestra en la tabla 2 existen muchos

tipos de materiales filtrantes, sin embargo, unos son más costosos económicamente que otros por lo que debe ser un factor por considerar en la selección.

Para la aplicación en este diseño, se considera que la temperatura del fluido es de aproximadamente 50°C. En la empresa se manejan dos materiales principales en los demás filtros de mangas los cuales son nomex y poliéster, sin embargo, en la tabla 2 se muestra que el Nomex resiste a una mayor temperatura, el uso que se le da al Nomex en la planta es para los filtros que se encuentran en las cercanías del horno de calcinación o bien en la nave de clinker que son los lugares a mayor temperatura por lo que el uso del Nomex no es necesario en esta sección de la empresa (premezclados).

Considerando los criterios anteriores, se selecciona que el material de la manga debe ser poliéster ya que resiste a una temperatura continua de 135°C y su tensión es excelente esto porque se requiere un material que resista los pulsos de aire para la limpieza.

Las dimensiones de la manga se pueden encontrar en muchos rangos, considerando los pedidos que hace la empresa en mangas para todos los filtros, se seleccionan mangas con 127 mm de diámetro y un largo de 3 metros (5 in x 120 in) y así realizar compras de un solo tipo de mangas al mismo proveedor.

Una vez que se tienen las dimensiones de las mangas y el área del filtro de mangas, se pueden calcular la cantidad de mangas que requiere el filtro mediante la fórmula:

$$\text{Número de mangas} = \frac{A_{\text{filtro}}}{A_{\text{manga}}} \quad [4.2]$$

$$A_{\text{manga}} = \pi \cdot D \cdot L = \pi \cdot (0,127) \cdot (3) = 1,1969 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{filtro}} = 257,1 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, la cantidad de mangas requeridas para el filtro son:

$$\text{Número de mangas} = \frac{257,1}{1,1969} = 215 \text{ mangas}$$

Entonces 215 mangas con esa área transversal pueden ser distribuidas en el área del filtro. Las configuraciones de las distribuciones de las mangas pueden ser varias, por ejemplo, filas de 15x15, 16x14, 17x13, cualquiera de estas configuraciones puede ser usada. Considerando que es importante tener en cuenta que a una válvula de limpieza por pulsos no es recomendable colocarle una gran cantidad de mangas a limpiar por fila, (como es el caso de que una válvula limpie 17 mangas), o caso contrario colocar una gran cantidad de válvulas de limpieza que elevaría el costo económico; se propone una distribución de 15x15 mangas y así alcanzar simetría en cantidad de válvulas y cantidad de mangas a limpiar.

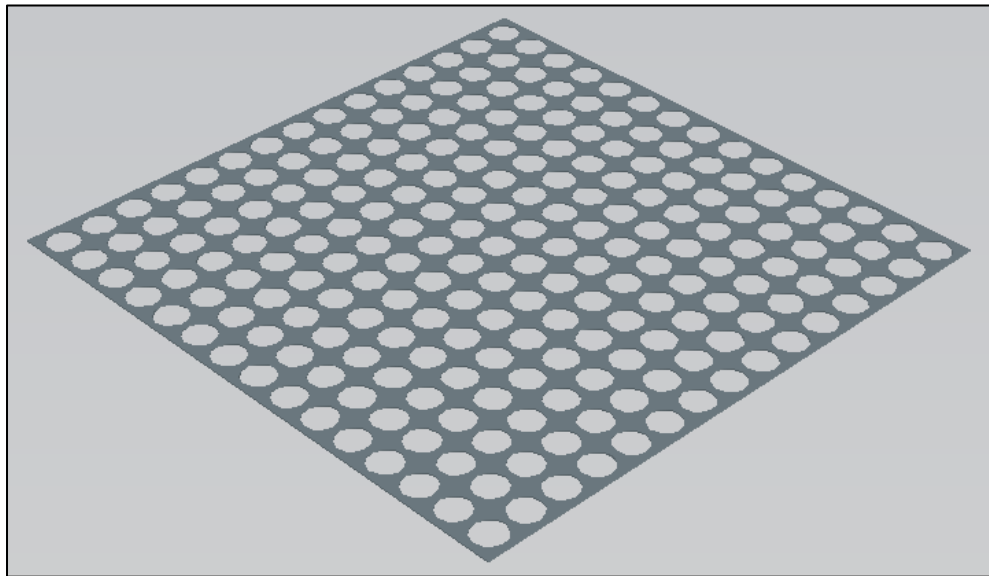


Figura 22. Propuesta de distribución de mangas 15 x 15.

Fuente: Elaboración propia (AutoCAD 2018).

### 4.3. Sistema de limpieza seleccionado.

Así mismo, para determinar el sistema más conveniente de limpieza de filtros de manga se realiza una tabla comparativa donde se analizan aspectos como el requerimiento de compartimientos y equipo externo, lo que implica mayor costo; una colección continua (poder realizar la limpieza de varias o muchas mangas a la vez) y la realización del mantenimiento el cual es muy importante para también reducir costos de operación.

**Tabla 7.** Comparación de los sistemas de limpieza.

Tipo limpieza	Compartimiento externo	Equipo externo	Colección continua	Fácil mantenimiento	Total
Agitación	No	Si	25 10	25 15	50 25
Aire inverso	Si	Si	25 10	25 15	50 25
<b>Pulse-jet</b>	<b>No</b>	<b>Si</b>	<b>25</b> <b>20</b>	<b>25</b> <b>20</b>	<b>50</b> <b>40</b>

Fuente: Elaboración propia (Office Word 2016).

Como se puede observar en la tabla 7 la mejor opción para la colección del polvo es por tipo **pulse-jet** esto porque no requiere un compartimiento externo y su colección es continua y ajustable, sin embargo, el mantenimiento no debe ser descuidado debido a la utilización de aire comprimido.

#### 4.3.1. Selección de la válvula de limpieza por pulsos.

En este tipo de limpieza se requiere de una válvula especial llamada válvula de limpieza por pulsos, consiste en liberar aire a una determinada presión e intermitencia con la función de estar removiendo el polvo de las mangas. Esta válvula debe ser capaz de ajustarse a la presión requerida por la aplicación.

Para la selección de la válvula se consultaron las principales marcas que utiliza la empresa en este tipo de repuestos, esto con el fin de utilizarla para la cotización de la válvula a dicho proveedor CEMEX. La marca de válvulas utilizada en el filtro de mangas es GOYEN de la serie T tamaño 25 (25 mm de diámetro del diafragma), con un rango de presiones de trabajo entre 30(5) – 860(125) kPa (psi), el código de selección de la válvula es RCA25T100-530.

En el anexo 2 se observan las especificaciones técnicas de la válvula seleccionada.

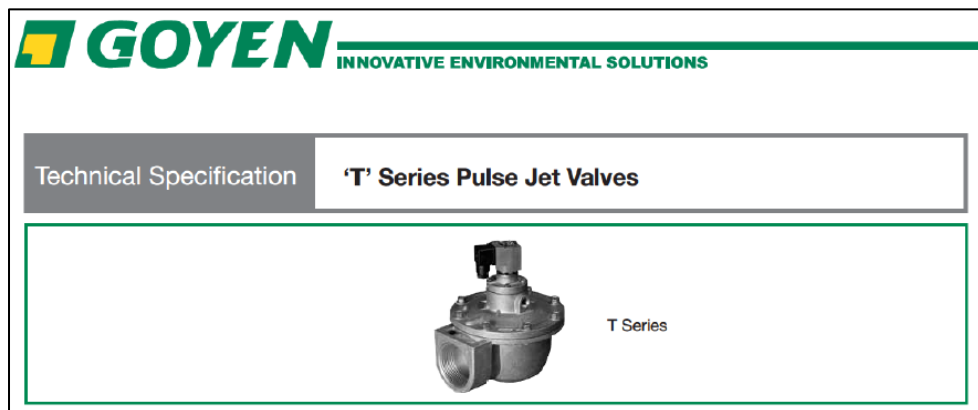


Figura 23. Válvula de pulsos GOYEN Serie T.

Fuente: (Altec, 2017).

Como se mencionó en la sección 3.3.5.3 la válvula debe tener la capacidad de regularse a una presión de trabajo tal que esta no dañe la manga, pero que a su vez remueva el polvo necesario. Según (Goberna, 1998) la presión óptima de limpieza se encuentra entre los 85 y 95 psi y según diseñadores CEMEX la presión óptima de limpieza es de 90 psi. Como se observa en las características técnicas de la válvula, esta tiene un rango de presiones de trabajo entre 30(5) – 860(125) kPa (psi) por lo que la válvula seleccionada se ajusta a las características de la aplicación.

### 4.3.2. Selección cajas de aluminio de válvulas piloto

Las válvulas de pulsos deben tener un sistema piloto que envíe la señal a la válvula para que se realice la limpieza, esta función la realiza la caja de válvulas piloto la cual se selecciona de la misma marca que las válvulas de diafragma.



Figura 24. Caja de válvulas piloto GOYEN.

Fuente: (Altec, 2017).

Esta caja de válvulas debe ser del tamaño y salidas adecuadas de manera que envíe la señal a las 15 válvulas que se seleccionaron en el apartado anterior, como se muestra en la figura 24, existen cajas con capacidad de 5, 8 y 12 válvulas piloto por lo que para el diseño de este filtro se seleccionan dos cajas de 8 válvulas y para contar con una válvula piloto sobrante en caso de algún fallo o daño de alguna de las líneas. En una segunda opción se seleccionaría una caja de 12 válvulas y otra de 5 para tener dos líneas sobrantes, ya que se debe tener en cuenta que, a mayor cantidad y tamaño de cajas, mayor será el costo económico.

El código de selección es el siguiente 3-8V8000-530 la cual consiste en una caja de aluminio equipada con 8 válvulas piloto, tipo de rosca de conducto y piloto NPT, 120V AC, sin calentador y sin placa identificadora. En el anexo 3 se muestran las especificaciones técnicas de las cajas de válvulas GOYEN.

#### 4.4. Medición de pérdidas de carga del sistema actual.

El sistema actual de la distribución de ductos del filtro cuenta con un sistema de válvulas de compuerta con el cual se puede desempolvar solamente los puntos deseados, con esto se logra aislar las tuberías sin que se tenga que detener el filtro por completo ya sea por mantenimiento o simplemente por paros en alguna sección del filtro.

Lo que se pretende es calcular las pérdidas de carga en el sistema de forma experimental y tener una aproximación más real a la hora de seleccionar el ventilador. Teóricamente según (CEMEX, 2017) el ventilador debe ser seleccionado a una presión estática no mayor a los 300 *mmcda*, sin embargo, este dato será verificado por medio de dichas mediciones.

En la figura 25 y tabla 8 se muestran las características de la distribución de ductos, de un plano 3D suministrado por la empresa para tener una mayor aproximación de las dimensiones actualmente.

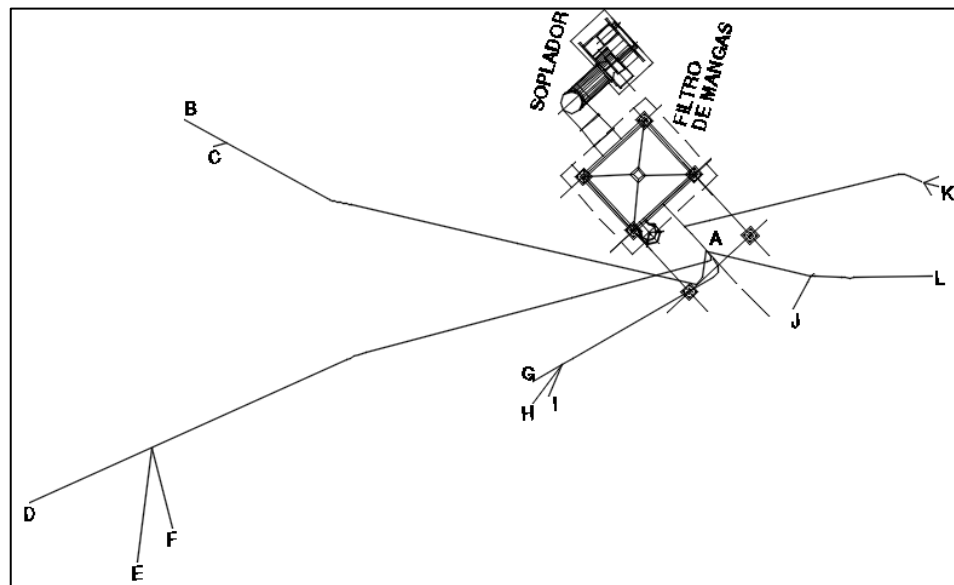


Figura 25. Vista superior de ramales del sistema actual.

Fuente: (CEMEX, 2017).



**Tabla 8.** Número de ductos y longitudes.

Ducto N°	Diámetro (mm)	Longitud (m)
AB	355-305	37,4
AC	355-305	34,8
AD	305-254	54,5
AE	305-254	52,3
AF	305-254	50,6
AG	330-254	19,0
AH	330-101	14,5
AI	330-178	14,5
AJ	254-203	17,0
AK	254-203	26,2
AL	305-254	22,7

Fuente: Elaboración propia (Office Word 2016).

Nota: la estructura del diámetro AB 355-305 mm significa que sale de A en 355 mm de diámetro y llega hasta el punto B en 305 mm de diámetro por medio de una reducción.

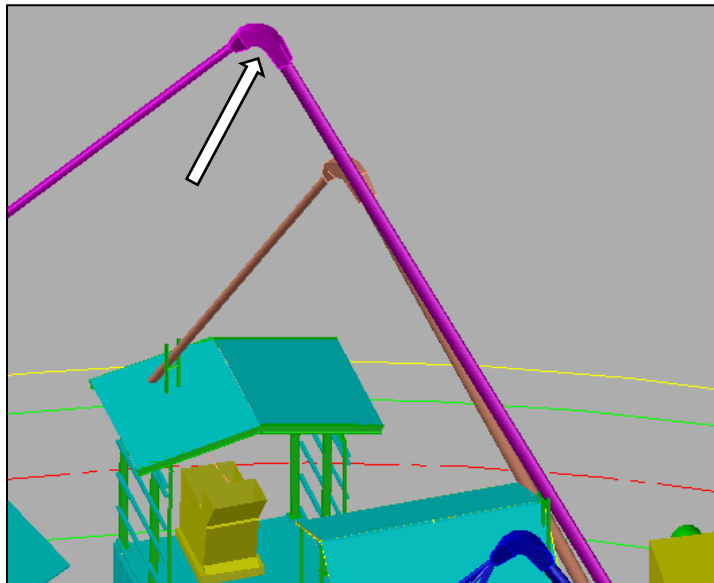


Figura 26. Ejemplo gráfico de las reducciones mencionadas en la nota anterior.

Fuente: (CEMEX, 2017).

Se debe tener en cuenta que el ventilador estará en función de la ruta crítica del sistema, es decir la mayor pérdida de carga que el ventilador debe vencer a la hora de ser seleccionado. A simple vista se podría decir que la ruta crítica es la que tiene mayor longitud equivalente las cuales son las rutas AD y AB de la figura 25, por lo que se decidió colocar estos dos puntos en un nuevo filtro, sin embargo, las mediciones serán realizadas en el sistema del filtro actual.

La intención de realizar este cambio es también la de reducir estas distancias colocando el nuevo filtro en un punto medio entre la criba 2D (ruta AD) y el triturador secundario (ruta AB). Por otra parte, estas dos áreas de la planta no pertenecen a la sección de premezclados, estas pertenecen a un área llamado triturador secundario es por esto las largas longitudes de desempolvo de estos puntos; esta es otra de las razones de separación de estos dos puntos, la de dejar la sección de premezclados desempolvado por un filtro y la sección del triturador secundario desempolvado por otro filtro.

**Tabla 9.** Mediciones de caída de presión en los ramales de mayor distancia.

Ducto N°	Presión 1 (mmcda)	Presión 2 (mmcda)	Caída presión (mmcda)
Filtro	-92	-357	-265
AB	58	-92	-150
AD	76	-92	-168
AK	-47	-92	-45

Fuente: Elaboración propia (Office Word 2016).

En la tabla 9 se observan los resultados de las mediciones realizadas al sistema, estas se realizaron desde el punto más largo de las rutas con mayor distancia a la entrada del filtro, para tener la caída de presión en esos dos puntos considerando longitud, codos y curvas en la ruta y también se realizó la medición de la caída de presión del filtro las cuales se miden con las presiones a la salida y a la entrada del mismo y se realiza la diferencia de estos puntos.

Como se muestra en los resultados, el filtro presenta una caída de presión de  $-265 \text{ mmcda}$  cuando normalmente debe tener una caída de presión máxima de  $-150 \text{ mmcda}$ . Esto se puede deber a muchos factores, como una velocidad de filtración inadecuada, mangas rotas o muy saturadas de polvo o una limpieza ineficiente. Además, se debe considerar que, a la hora de realizar las mediciones, se presentaba mucha humedad y el filtro al operar bajo estas circunstancias se humedece, y se verifico ya que al extraer los tubos pitot de las mediciones, estos presentaban polvo húmedo.

La alta caída de presión del filtro no fue uno de los únicos errores críticos encontrados, sino que también a la hora de realizar las mediciones en las rutas críticas supuestas; (ruta AB y ruta AD) en las tomas de polvo colocadas cerca de las campanas de succión de estos puntos, se tomaron mediciones positivas como se observan en los resultados, esto lo que significa es que en estos puntos no existe desempolvo, o sea el ventilador no succiona en estos dos puntos, lo que se produce es un efecto de chimenea natural que hace que el polvo suba sin aporte de energía hasta llegar a un punto de la tubería donde el efecto de desempolvo del ventilador si se produce (punto donde la presión es negativa).

Por otra parte, también se observa que la caída de presión total que debe vencer el ventilador es de  $-433 \text{ mmcda}$  (suma de la caída de presión del filtro y la mayor caída de presión de las rutas), sin embargo, en la empresa no se contaba con la curva característica del ventilador actual para poder comprobar a qué caída de presión se seleccionó dicho ventilador.

Lo que se pretende con este rediseño, como se mencionó anteriormente, es colocar un nuevo filtro desempolvando estas dos rutas, y realizar las mediciones al filtro actual y comprobar las nuevas caídas de presiones en todos los puntos.

#### 4.5. Selección del ventilador

De los cálculos anteriores se determina que el ventilador debe tener una capacidad de extracción de  $6,428 \text{ m}^3/\text{s}$  pero se debe tener en cuenta que este caudal se diseñó para 215 mangas y se propone una distribución de  $15 \times 15$ ; o sea 225 mangas por lo que existe un caudal adicional de esas 10 mangas que debe ser compensado en la selección del ventilador.

Entonces:

$$Q_{\text{ventilador}} = (225 \cdot 1,1969) \cdot 0,025$$

$$Q_{\text{ventilador}} = 6,733 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por otra parte, el ventilador debe ser seleccionado en condiciones estándar y este debe ser corregido a condiciones actuales para garantizar su correcto funcionamiento en el lugar de trabajo mediante la siguiente ecuación:

$$acfm = scfm \cdot \frac{P_{std}}{P_1 - (P_{std} \cdot \phi_1)} \cdot \frac{T_1}{T_{std}} \quad [4.3]$$

Dónde:

$acfm$ : Pies cúbicos por minutos actuales

$scfm$ : Pies cúbicos por minutos estándar

$P_1$ : Presión del sitio de trabajo

$P_{std}$ : Presión estándar (a nivel del mar)

$\phi_1$ : Humedad relativa del sitio de trabajo

$T_1$ : Temperatura ambiente del sitio de trabajo

$T_{std}$ : Temperatura estándar

Considerando que la planta se encuentra a  $25 \text{ msnm}$  y la humedad relativa es muy baja, (al igual que en la selección de la capacidad del filtro) se puede decir que  $acfm = scfm$  para esta aplicación en específico, ya que no existe un cambio

significativo en la presión del sitio de trabajo con relación a la presión a nivel del mar por lo tanto el ventilador puede ser seleccionado en condiciones estándar sin tener que corregir el caudal que entrega.

Una vez corregido el caudal requerido a condiciones actuales, se envían los datos del ventilador a Flakt S.A. (proveedor de CEMEX) y se reciben las siguientes propuestas de ventiladores. Cabe destacar que los ventiladores se seleccionan a una presión estática máxima de 300 *mmcda*.



Flakt México Fans, S.A. de C.V.  
CEMEX COSTA RICA S.A.



Fecha Septiembre 11, 2017	OFERTA TÉCNICA	No. de Cotización 1071K1363NMS
------------------------------	----------------	-----------------------------------

### Ventiladores Filtro de Mangas

#### 1.1 Datos generales y de operación del ventilador.

A) Condiciones de operación

Fluido a manejar	Aire del colector
Aplicación	Ventilador Extracción Filtro de Mangas
Tipo de aspas	<a href="#">Curvas inclinadas hacia atrás</a>
Tipo de control	Compuertas de alabes directrices
Lugar de operación	Guanacaste
Altura sobre el nivel del mar	25 m
Presión barométrica	1010.1 mbar
Ubicación del ventilador	Succión y descarga ductada a chimenea

	Ventilador 1 HACB-063-917	Ventilador 2 HACB-063-879	Unidad
Flujo de aire	7.70	6.50	m <sup>3</sup> /s
Contenido de polvo	0	0	gr/Nm <sup>3</sup>
Temperatura de operación	65	65	°C
Temperatura de diseño	100	100	°C
Densidad del aire en la succión	1.011	1.011	kg/m <sup>3</sup>
Presión estática en la succión	-300	-300	mmwg
Presión estática en la descarga	0	0	mmwg
Incremento de presión estática	300	300	mmwg
Consumo de potencia			
A temperatura de operación, sin polvo	28	23	KW
Potencia mínima recomendada para el motor + 15% incluido	32	26	KW
Eficiencia estática sin polvo	80.9	83.1	%
<b>Características mecánicas</b>			
Velocidad de operación	1,770.00	1,785.00	rpm
Diámetro del rodete *	917	879	mm
Momento de inercia del rodete *	7.6	7.3	kg.m <sup>2</sup>
Coefficiente de velocidad crítica *	1.5	1.5	-

\* Valores aproximados los cuales pueden variar en diseño final del rotor

Figura 27. Características del ventilador seleccionado.

De las propuestas anteriores se selecciona el ventilador serie HACB-063-917 con la intención de tener flujo a favor en caso de ampliaciones que superen la pérdida de carga teórica. En el anexo 4 se muestran las demás características del ventilador seleccionado.

#### 4.5.1. Verificación del ventilador por coeficiente $C_v$ .

Para comprobar que el ventilador abastece los caudales requeridos para el sistema se utiliza el concepto del coeficiente  $C_v$ , este se determina como:

$$C_v = \frac{Q}{\sqrt{h_f}} \quad [4.4]$$

Dónde:

$C_v$ : Coeficiente  $C_v$

$Q$ : Caudal requerido por el sistema

$h_f$ : Pérdida de carga del sistema

Como se mencionó anteriormente el ventilador debe ser capaz de entregar  $6,733 \text{ m}^3/\text{s}$  a una presión estática máxima de  $300 \text{ mmcda}$  y una mínima de  $175 \text{ mmcda}$ , con estos datos se calcula la pendiente o coeficiente  $C_v$  del sistema:

$$C_{v1} = \frac{6,733}{\sqrt{300}} = 0,3887$$

$$C_{v2} = \frac{6,33}{\sqrt{175}} = 0,5090$$

Por lo tanto, se tiene un  $C_{v1} = 0,3887$  y un  $C_{v2} = 0,5090$  que al mantenerlos constantes para diferentes caudales se puede determinar la caída de presión para dicho caudal mediante el despeje de la ecuación 4.4, entonces se obtienen los puntos:

**Tabla 10.** Caídas de presión para diferentes caudales.

<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Caída presión Cv1 (mmcda)</b>	<b>Caída presión Cv2 (mmcda)</b>
0	0	0
2	26,47	15,44
4	105,8	61,76
6	238,2	139,0
8	423,5	247,1
10	661,8	386,0

Fuente: Elaboración propia (Office Word 2016)

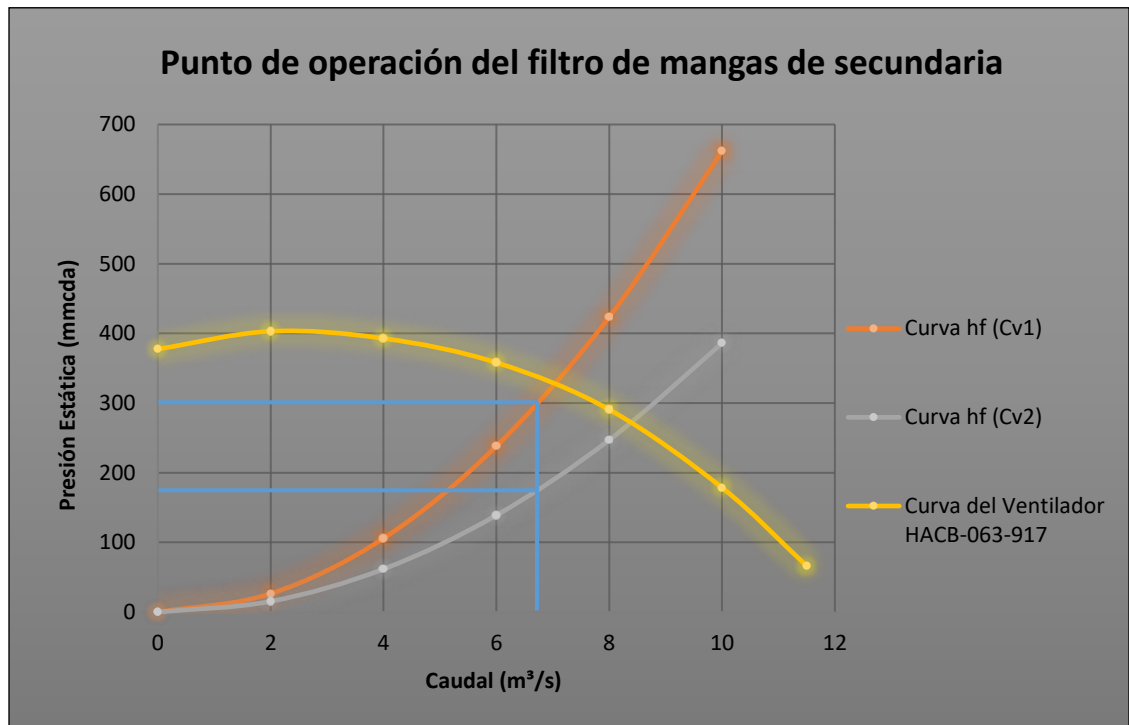
Y mediante las características del ventilador en el anexo 4, figura 37 se obtiene la curva del ventilador.

**Tabla 11.** Presión estática para diferentes caudales del ventilador Flakt.

<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Presión Estática (mmcda)</b>
0	377,5
2	403,1
4	392,9
6	358,2
8	290,8
10	178,6
11,5	66,30

Fuente: Elaboración propia (Office Word 2016).

Con los datos de las tablas 10 y 11 se grafica la curva del sistema para determinar si el filtro seleccionado abastece los requerimientos del nuevo sistema.



Fuente: Elaboración propia (Office Excel 2016).

De la gráfica anterior se determina que para una presión estática de 175 *mmcda* se necesita suministrar al menos un caudal de 6,733  $m^3/s$  por lo tanto, dentro de los puntos de operación del ventilador siempre será posible abastecer los requerimientos mínimos del sistema. Con este análisis se verifica que el ventilador preseleccionado cumple con los requisitos del sistema.

También se debe recordar que el ventilador posee su propia curva característica suministrada por el proveedor (ver anexo 4, figura 42) y como se puede observar en la gráfica anterior cuanto más se aumente el caudal, la caída de presión aumenta en los ductos, lo que se ve reflejado en una disminución de la eficiencia del ventilador, por lo que se vuelve primordial respetar los caudales de diseño del fabricante y garantizar que se trabaja al caudal y caída de presión para los cuales fueron diseñados y seleccionados los equipos.



A lo anterior se le debe sumar que la eficiencia del ventilador se determina a partir de la inexistencia de polvo a través de él, donde físicamente no se puede garantizar; ya que en el momento que exista ruptura de una de las mangas este polvo no se filtra por lo que atraviesa a la cámara de aire limpio y a su vez atraviesa el ventilador para ser extraído al ambiente lo que reduciría aún más la eficiencia del ventilador.

#### 4.6. Dimensionamiento de campanas de extracción.

Como se mencionó en secciones anteriores, los puntos requeridos a desempolvar en esta sección de la empresa y en este rediseño del filtro de mangas son bandas transportadoras, cribas y trituradoras, es por esto que, para hacer el proceso de colección aún más eficiente se recomienda hacer el cambio o verificación de campanas de las tomas de polvo y garantizar que se cumple con las velocidades de diseño tanto en la succión de la campana como a través de la tubería. Se debe recordar que el caudal a través de los ductos se diseñó a partir de la tubería del sistema actual, por lo que el cambio de las tuberías no es necesario.

Para realizar estos cálculos se tomaron en cuenta los tipos de campana de la tabla 5 y la utilización de campanas simples específicamente. Una vez considerados los datos teóricos de velocidades de succión y forma de la campana se realizaron los cálculos mostrados en el apéndice 4 y se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 12.** Dimensionamiento de las campanas de extracción de polvo.

Punto Desempolvo	Caudal ( $m^3/s$ )	Factor forma (W/L)	Longitud foco (cm)	Velocidad (m/s)	Largo x Ancho (cm x cm)
Banda transportadora	0,4338	0,6	30	1	88 x 53
Trituradora	0,5081	0,6	40	1	135 x 81
Criba	1,524	0,6	50	2	170 x 102

Fuente: Elaboración propia (Office Excel 2016).

Por lo tanto para desempolvar la caída de material en la banda transportadora se requiere una campana de 88 cm x 53 cm, para desempolvar el interior de la trituradora se requiere de una campana con mediciones de 135 cm x 81 cm y para desempolvar la criba se necesita de una campana de 170 cm x 102 cm. Se debe recordar que la colocación de la campana es en la parte superior de manera que no existan fugas en el caso de la criba y la trituradora principalmente.

#### **4.7. Sistema de almacenaje y transporte del polvo.**

Existen varios métodos para el transporte del polvo acumulado una vez que las mangas han sido limpiadas por los pulsos de aire comprimido, entre ellos están la recolección en bolsas especiales (figura 29) o bien un sistema aerodeslizador (figura 28) como métodos más económicos que transporte el material. Cualquiera de estos sistemas, deben contar con una válvula rotativa para el movimiento del polvo a la salida de la tolva, la cual se encarga de insertar el polvo ya sea en la bolsa recolectora o en el aerodeslizador de polvo.



Figura 28. Sistema aerodeslizador de polvo.

Fuente: [http://kemex.es/es/tecnologia/sistemas\\_aerodeslizadores](http://kemex.es/es/tecnologia/sistemas_aerodeslizadores)

Sin embargo, debido a la zona de trabajo y al poco espacio que existe en el área, la colocación del filtro puede afectar al método de transporte. Lo ideal es reinyectar este polvo al silo de materias primas para enviarlo directamente al horno de calcinación y agilizar el proceso y elevar los indicadores de producción, pero la distancia del punto de colección al horno es una problemática.

Como segunda opción se analiza reinyectar el polvo a la banda que transporta el material a la nave de materias primas, pero este al ser partículas muy pequeñas en el proceso de caída a la banda puede desprenderse y volver a ser absorbido por la campana de succión de limpieza que va al filtro, lo que provocaría una especie de ciclo para el polvo, más el desprendimiento de polvo que se produce en el movimiento de la banda hacia la nave de materias primas.

En el sistema actual, se tiene como ventaja que el filtro está a pocos metros de distancia de silos, bandas y tolvas modificadas al proceso, por lo que el uso de un sistema aerodeslizador si es conveniente para el transporte de polvos y así ser aprovechado en la producción de morteros.

De manera momentánea, el polvo acumulado puede ser recolectado en bolsas o bandejas colocadas de manera que se transporten fácilmente al silo de materia prima o bien donde sea necesario su uso y pensar en un proceso de reinyección.

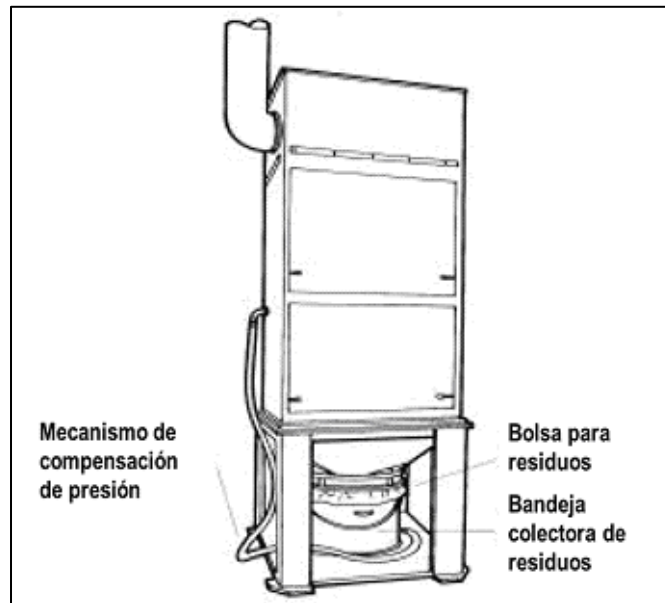


Figura 29. Funcionamiento de la recolección por bolsas o bandejas.

Fuente: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5487743&fecha=22/06/2017&print=true](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5487743&fecha=22/06/2017&print=true)

#### **4.8. Programa de mantenimiento del filtro de mangas**

Con el fin de garantizar la eficiencia máxima del filtro de mangas de la sección de premezclados, se propone a continuación un programa de rutinas de mantenimiento mínimas y básicas para garantizar que cada equipo del filtro opera de manera correcta. Con el mantenimiento correcto no solo se obtiene una alta eficiencia de este, sino también se garantiza que se está cumpliendo con el Reglamento de Calidad de Aire para los Contaminantes estipulados por el ministerio de salud.

El fin de realizar este programa es la de adjuntar fácilmente las rutinas al software de mantenimiento utilizado por la empresa y agilizar el proceso, ya que dentro de los requisitos que se solicitan son equipo por intervenir, tareas a realizar, frecuencia con la que se realiza y persona por la que debe ser realizado.

**Tabla 13.** Rutinas de mantenimiento propuestas para el sistema colector de polvo.

<b>Equipo</b>	<b>Tareas propuestas</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Realizar por</b>
Compresor y válvulas	Realizar inspecciones en la tubería y verificar que no exista ningún tipo de fugas.	Trimestral	Mecánico
	Medir presión entregada por el compresor.	Semanal	Mecánico
	Verificar estado de los solenoides, y verificar que se está enviando la señal para que se realice el pulso de desempolvo.	Semanal	Eléctrico
	Verificar el estado de la válvula de pulsos.	Trimestral	Mecánico
	Realizar prueba manual a la válvula y verificar que funciona correctamente.	Trimestral	Mecánico
	Verificar el funcionamiento de las purgas del compresor.	Trimestral	Mecánico
	Realizar el cambio de lubricante del compresor.	Trimestral	Mecánico
Mangas	Revisar que el sistema de limpieza de las mangas se realice de forma correcta.	Semanal	Mecánico
	Realizar pruebas y cambiar mangas rotas en caso de ser necesario.	Semanal	Mecánico
	Verificar que la canastilla se ajusta a la medida del agujero para evitar la filtración de polvo a la cámara de aire limpio.	Semanal	Mecánico
	Verificar ajuste correcto de la manga y de la canastilla.	Semanal	Mecánico
	Verificar la presión de pulsos para evitar la ruptura de las mangas.	Trimestral	Mecánico
Ventilador	Revisar la tubería a medida que sea posible o colocar visores a lo largo de la misma.	Paro mayor	Mecánico
	Verificar que las válvulas estén abiertas y/o cerradas según sea necesario desempolvar.	Diaria	Mecánico
	Medir la velocidad del ventilador.	Trimestral	Mecánico o Eléctrico
	Revisar diseño de los ductos.	Paro mayor	Supervisor Mecánico
	Realizar una inspección visual y auditiva del ventilador y descartar incrustaciones.	Semanal	Mecánico
	Verificar el estado de los rodamientos y cambiarlos o agregar grasa en caso de ser necesario.	Trimestral	Mecánico
	Realizar análisis de vibraciones y balanceo de ser necesario.	Paro mayor	Mecánico

	Verificar la presión de los tornillos y si hace falta alguno de ellos.	Trimestral	Mecánico
	Verificar la velocidad de giro del motor.	Trimestral	Eléctrico
	Medir si existe caída de tensión en la conexión del motor.	Trimestral	Eléctrico
	Revisar el diseño y selección del motor para la operación.	Paro mayor	Supervisor Eléctrico

Fuente: Elaboración Propia (Office Word 2016).

Sin embargo, se debe tener en cuenta que el fabricante en la mayoría de los casos da cierta garantía del equipo y sus propias rutinas de mantenimiento, por lo que estas deben ser tomadas en cuenta. Las rutinas anteriormente recomendadas son-propuestas-debido-a-la-observación-de-campo.

#### **4.9. Costo del proyecto**

En esta sección se detalla todo lo referente al costo económico del filtro de mangas, se debe tener en cuenta que existen empresas que distribuyen el filtro completo, sin embargo, se realiza una cotización de cada parte que conlleva el filtro de mangas y así tener una aproximación del costo total.

Por otra parte, se realizan cotizaciones en empresas especialistas en colectores y contaminación al medio ambiente como EXAUSFIBRA en Brasil las cuales se encargan de la selección de las válvulas, mangas, materiales y del ventilador. Sin embargo, se deben dar especificaciones como los caudales de operación y la pérdida máxima de diseño del ventilador ( $300 \text{ mmcda}$ ) para garantizar que la cotización del filtro de mangas es óptima para el diseño.

En la siguiente tabla se muestra cada una de las partes principales del filtro de mangas y su costo económico por unidad, agregando el impuesto de ventas a las cotizaciones que no lo incluyen, este modelo es el cotizado tomando en cuenta que los componentes van a ser comprados individualmente por la empresa e instalado en planta.

**Tabla 14.** Costo económico aproximado del filtro de mangas.

Cantidad	Producto	Marca	Modelo	Proveedor	Costo unitario	Costo total
215	Mangas	TI	SM*	Textiles Industriales	\$7,45	\$1 600,2
215	Canastillas	TI	SM*	Textiles Industriales	\$19,60	\$4 214,0
1	Ventilador	Flakt	HACB-063-917	Flakt	\$13 280,00	\$13 280,0
	Motor	Siemens	4P, 60Hz, B, 1.15	Flakt		
1	Compuertas	Flakt	HXAG-063	Flakt	\$1 420,00	\$1 420,0
1	Sensores Vibración	METRIX	ST5491E	Flakt	\$4 480,00	\$4 480,0
1	Sensores Temperatura	CONAX	RTD PT 100	Flakt	\$2 750,00	\$2 750,0
15	Válvulas	GOYEN	Series T	Textiles Industriales	\$45,00	\$675,0
3	Cajas piloto	GOYEN	RCA3D	Zúro Camafe	\$962,24	\$2 886,7
1	Válvula rotativa	Donaldson	L10FT	Donaldson	\$999,00	\$999,00
1	Otros**				\$15 000,00	\$15 000,0
					<b>Costo total \$</b>	<b>\$47 305</b>
					<b>I.V. ***</b>	<b>\$10 594</b>
					<b>Costo total ¢</b>	<b>¢33 292 942</b>

\*Sin modelo

\*\*Otros costos

\*\*\*Impuesto de ventas

Fuente: Elaboración Propia (Office Excel 2016).

Algunos de los productos fueron cotizados en Costa Rica o como es el caso de las mangas, el ventilador y las canastillas que estos fueron cotizados a proveedores fuera del país. Dentro de los otros costos se incluyen algún imprevisto o bien la estructura del filtro, sin embargo, en su almacén de repuestos la empresa cuenta con parte de la estructura necesitada.

En el caso de los sensores y la compuerta, estos son artículos extras del ventilador, es decir; pueden no ser incluidos en la cotización, por lo que si no se toman en cuenta el costo económico se reduciría considerablemente.

En el anexo 7 se muestra la cotización realizada por la empresa EXAUSFIBRA la cual muestra la capacidad de extracción del filtro, especificaciones de materiales,



especificaciones del ventilador entre otros. Se debe tener en cuenta que dentro de las características del ventilador, la presión estática de trabajo es de 115 *mmcda* y no según el especificado en el diseño de 300 *mmcda*, pero se debe considerar que es una empresa fabricante de filtros de mangas y no de ventiladores industriales, por lo que se debe de solicitar modificar este equipo o bien realizar una compra del ventilador aparte del filtro de mangas.

El precio del filtro de mangas cotizado en EXAUSFIBRA es de \$102 000,00 (₡58 650 000,00 al tipo de cambio por BCCR a la fecha 2017-10-19) donde incluye cualquier gasto por transporte, imprevistos e instalación, en el anexo 7 se muestra la cotización completa del filtro de mangas.

Al realizar la comparación entre comprar el sistema individualmente o comprarlo a EXAUSFIBRA se observa una diferencia de casi el doble del presupuesto, sin embargo, analizando componente por componente, se observa que son equipos diferentes (medidas, materiales, voltajes) lo que eleva el costo económico. Este es un claro ejemplo de que se debe tomar una gran consideración a la hora de comprar el equipo. Otro aspecto es que esta empresa no es un proveedor directo de CEMEX Costa Rica, por lo que no existe ninguna consideración en el costo del filtro de mangas.

El proveedor directo de filtros de manga de la empresa se llama FLSmidth y se realizó la cotización a dicha empresa, sin embargo, esta no llegó a tiempo a la hora de la presentación del informe final. Esta propuesta será analizada en cuanto se tenga en manos de la empresa y la cual es la principal opción para la compra del filtro de mangas.

Se debe recordar que el filtro de mangas es una necesidad de la empresa para reducir las emisiones de contaminación por polvo, pero también este polvo es utilizado en una parte de la empresa para la producción de producto fino, por lo que se podría pesar cuanto polvo se produce por hora o día y determinar cuánto producto se produce a partir del polvo recolectado y estimar una reinversión del filtro, sin

embargo, no fue posible realizar estas mediciones por tiempo ya que el equipo de pesado no se encontraba en planta a la hora de la propuesta de estimar la reinversión. Es una de las propuestas a realizar en un futuro ya que es mucha la cantidad de toneladas de polvo que se producen al mes en esta área y que puede ser reutilizado.

## CONCLUSIONES

1. Se consideraron normas por parte del Ministerio de Salud las cuales estipulan que un sitio de trabajo debe cumplir con valores anuales diarios menores o iguales a los  $30 \mu g/m^3$  para partículas menores a los  $10 \mu m$  ( $PM_{10}$ ).
2. Se determinó que los puntos que se deben desempolvar son, bandas transportadoras, cribas y trituradoras con caudales de  $350 \text{ cfm}$ ,  $200 \text{ cfm}$ ,  $197 \text{ cfm}$  mínimos respectivamente multiplicados por el área de cada equipo para determinar el caudal de desempolve en cada uno de los puntos requeridos.
3. Se concluye que la alternativa más conveniente es la utilización de filtro de mangas, esto por su alta eficiencia en la colección de partículas menores a los  $20 \mu m$  y la utilización de limpieza por pulsos de aire (pulse-jet) ya que no se requiere un compartimiento externo y su colección de partículas es continua principalmente.
4. Se seleccionó el equipo completo de manera individual de un filtro de mangas; un ventilador marca Flakt con un caudal de diseño de  $7,7 \text{ m}^3/s$  a una caída de presión estática de  $300 \text{ mmcda}$ , válvulas y cajas de válvulas marca GOYEN para la limpieza por pulsos de aire, mangas con material de poliéster y dimensiones de  $127 \text{ mm}$  de diámetro y  $3 \text{ metros}$  de largo, así como las campanas de extracción para ser modificadas por las actuales.
5. Se dibujaron planos utilizando el Software AutoCAD donde se muestran las propuestas de conexión de las tuberías a la entrada del filtro de mangas.
6. Se realizó un estudio de costos para presupuestar el proyecto de dos maneras; si el colector se comprase los equipos de forma individual obteniéndose un costo de  $\$32\,718\,507$  y si se comprara a empresas fabricantes de filtros cotizándose un costo de  $\$58\,650\,000$  a la empresa EXAUSFIBRA en Brasil.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar reducciones de tuberías con relación de diámetros que no supere los 15°, ver apéndice 6.
2. Utilizar longitudes de las reducciones de diámetros de al menos 3 veces la distancia del diámetro mínimo de la reducción, ver apéndice 6.
3. Utilizar inclinación en la tubería de succión con un ángulo entre 30° y 60° para evitar una entrada horizontal al filtro, ver apéndice 6.
4. Colocar ramales de las tuberías de succión en las reducciones de diámetro y a un máximo de 45°, nunca por ningún motivo a 90°, ver apéndice 4. Si al colocar la tubería se observa que esta queda en posición horizontal, se debe utilizar un ángulo menor a los 30° y evitar dicha situación; como es el caso de la posición M-16 en la figura 34, apéndice 6.
5. Por cada ramal de succión que se coloque en la entrada del filtro, se recomienda colocar una reducción de diámetro para colocar dicho ramal, por ningún motivo se deben colocar ramales simétricos en una misma reducción de diámetro; ver figura 34, apéndice 6.
6. Evitar la colocación de tuberías horizontales a lo largo del sistema, ya sea en la entrada del filtro o en cualquier tramo de desempolve, esto porque el material se decanta o bien se acumula en tramos horizontales por lo que reduce en área del flujo del fluido.
7. Seleccionar el ventilador con descarga a 90° de la succión y con dirección hacia arriba.
8. Programar la caja de válvulas piloto a un tiempo de apertura y cierre entre 50 – 500 milisegundos y un tiempo entre pulsos de al menos un minuto para volver a limpiar la misma fila de mangas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Altec. (2017). *Válvulas de Pulsos GOYEN*. Obtenido de <http://www.altecdust.com/productos/goyen/valvula-de-diafragma-serie-t.html>
- Castillo, G. P. (2001). *Cálculo y diseño fluidodinámico de un filtro de mangas (tipo pulse-jet) para partículas minerales de origen industrial*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politecnica del Litoral, Ecuador.
- CEMEX. (2017). *Acerca de CEMEX*. Obtenido de CEMEX: <http://www.cemexcostarica.com/AcercaCemex.aspx>
- Ejecutivo, P. (2016). *Reglamento de Calidad de Aire para Contaminantes*. Ministerio de Salud, Costa Rica: San Jose.
- Emison. (2010). *Filtros de Mangas*. Obtenido de <http://www.emison.es/medioambiente/pdf/humos/filtro%20de%20mangas.pdf>
- EPA. (2002). *Manual de costos del control de contaminación del aire*. Obtenido de [https://www3.epa.gov/ttn/catc1/dir2/c\\_allchs-s.pdf](https://www3.epa.gov/ttn/catc1/dir2/c_allchs-s.pdf)
- FLAKT. (2017). *Ventiladores Flakt Mexico S.A.* Tultitlán México.
- Goberna, R. (1998). *Recommended Practice of Industrial Ventilation* (23th ed.). Michigan, USA: American Conference of Governamental Industrial Hygienists, Inc.
- Londoño, C. A. (2008). *Diseño de Filtros de Talegas*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4845680>
- Nederman. (2011). *Filtros de Mangas Nederman*. Obtenido de <http://www.nederman.es/products/bag-filters/pulse-jet-cleaning/~~/media/ExtranetDocuments/PublishedBrochure/MJB.ashx>

- Palau, S. &. (2012). *Manual practico de ventilacion*. Obtenido de [http://www.solerpalau.mx/pdf/sp\\_ventilacion\\_c4.pdf](http://www.solerpalau.mx/pdf/sp_ventilacion_c4.pdf)
- Sodeca. (2012). Ventiladores centrifugos y extractores en línea. 260. Obtenido de <http://www.plcmadrid.es/wp-content/uploads/catalogos/SODECA/catalogo%20material%20electrico-Ventiladores-centr%C3%ADfuos-y-extractores-en-linea-para-conductos-sodeca.pdf>
- Swinderman, R. T. (2009). *Foundation* (4ta Edicion ed.). Illinois, EE.UU: Martin Engineering Company.
- UcersaIngeniería. (2011). *Medio Ambiente Tecnología. Filtros, depuradores y Refrigeradores*. Obtenido de <http://www.ucersa.com/wp-content/uploads/2011/12/filtros-ucersa.pdf>
- Ventec. (2004). *Manual de Filtros de Mangas*. Obtenido de [http://www.ventec.com.br/espanhol/downloads/ESP\\_Manual%20Filtro%20de%20Mangas.pdf](http://www.ventec.com.br/espanhol/downloads/ESP_Manual%20Filtro%20de%20Mangas.pdf)
- Woodard, K. (1998). *Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina*. Obtenido de <https://www3.epa.gov/ttn/catc1/dir1/pmcontech2.pdf>

## APÉNDICES

### Apéndice 1: Capacidad del filtro utilizando puntos de desempolvo.

Utilizando los datos del anexo 1 se considera la necesidad de desempolvar una criba, una trituradora de caliza y dos puntos de bandas transportadoras.

$$Q_{criba} = 200 \text{ cfm}$$

$$Q_{trituradora} = 197 \text{ cfm}$$

$$Q_{bandas} = 350 \text{ cfm}$$

Estos caudales se deben multiplicar por el área de la campana de la criba, el área de la campana de la trituradora y del ancho de la banda respectivamente, que por datos medidos en campo se tiene:

$$A_{criba} = 16,138 \text{ ft}^2$$

$$A_{trituradora} = 5.3792 \text{ ft}^2$$

$$L_{bandas} = 2,642 \text{ ft}$$

Entonces se calcula el caudal total necesario para desempolvo, considerando el factor de diseño CEMEX.

$$Q_{desempolvo} = [(200 \cdot 16,138) + (197 \cdot 5,3792) + (350 \cdot 2,642) + (350 \cdot 2,642)] \cdot 1,5$$

$$Q_{desempolvo} = 9205 \text{ cfm}$$

$$Q_{desempolvo} = 4,348 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nota: Se debe tener en cuenta que el área de los distintos puntos de desempolvo actúa como factor multiplicador del caudal necesario.

### Apéndice 2: Eficiencia teórica de un filtro de mangas.

Con la ayuda de la ecuación 3.10 se puede determinar la eficiencia teórica de un filtro de mangas y recordando que la concentración reglamentaria a la salida de un filtro de mangas es de  $0,03 \text{ mg/m}^3$  se obtiene:

$$\eta_{colector} = \frac{30 - 0,03}{30} \cdot 100\%$$

$$\eta_{colector} = 99,9\%$$

### Apéndice 3: Proceso de medición de presiones.

En este apéndice se muestran fotografías referentes al proceso instalación de tomas de aire y medición de presiones en la tubería, filtro y ventilador



Figura 30. Tomas de aire, instalada a lo largo de las tuberías, filtro, y entrada del ventilador.

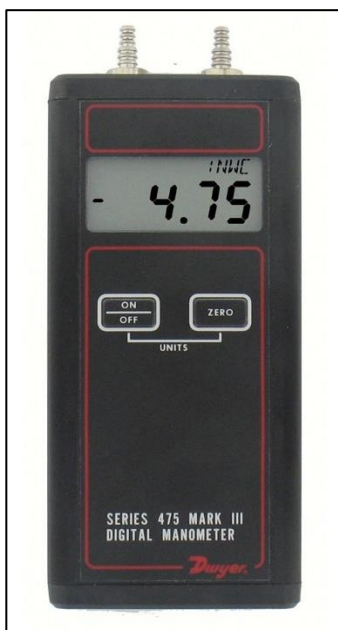
Fuente: Fotografía propia





Figura 31. Tomas de medición para tubo pitot instalada a la entrada del ventilador.

Fuente: Fotografía propia



Características del equipo de medición utilizado.

Marca: Dwyer

Modelo: Mark III serie 475

Rangos: 1 in cda (0,249 kPa) (10,34 bar)

Voltaje: 9V

Exactitud:  $\pm 0,5\%$

Fuente: <https://www.dwyer-inst.com/Product/Pressure/Manometers/Digital/Series475>

#### Apéndice 4: Muestra de cálculos del dimensionamiento de las campanas de extracción.

Los caudales de desempolvo son los mismos calculados en el apéndice 1, entonces se tiene

$$Q_{criba} = 1,524 \text{ m}^3/\text{s} \quad v = 2 \text{ m/s} \quad X = 0,5 \text{ m}$$

$$Q_{trituradora} = 0,5081 \text{ m}^3/\text{s} \quad v = 1 \text{ m/s} \quad X = 0,4 \text{ m}$$

$$Q_{bandas} = 0,4338 \text{ m}^3/\text{s} \quad v = 1 \text{ m/s} \quad X = 0,3 \text{ m}$$

A partir de la formula mostrada en la tabla 5 para campanas simples se puede despejar el área de la campana y se toma como factor de forma 0,6:

$$Q = v(10X^2 + A)$$

$$W/L = 0,6$$

Entonces para la criba se tiene:

$$A_{campana} = \frac{Q}{v} - 10X^2 = \frac{1,524}{2} - (10 \cdot 0,5^2) = 1,738 \text{ m}^2$$

$$A_{campana} = L_{campana} \cdot W_{campana} = L_{campana} \cdot (0,6 L_{campana})$$

$$L_{campana} = \sqrt{\frac{1,738}{0,6}} = 1,702 \text{ m}$$

$$W_{campana} = 0,6 \cdot 1,702 = 1,021 \text{ m}$$

De igual manera para la trituradora:

$$L_{campana} = 1,349 \text{ m}$$

$$W_{campana} = 0,8094 \text{ m}$$

Y para las bandas transportadoras:

$$L_{campana} = 0,8815 \text{ m}$$

$$W_{campana} = 0,5289 \text{ m}$$

## Apéndice 5: Imágenes de la situación actual del filtro de mangas.



Figura 32. Situación actual de la conexión de tuberías a la entrada del filtro de mangas.

Fuente: Fotografía propia



Figura 33. Situación actual del sistema de limpieza por pulsos y estructura del filtro de mangas.

Fuente: Fotografía propia

## Apéndice 6: Detalles de conexión de tuberías a la entrada del filtro.

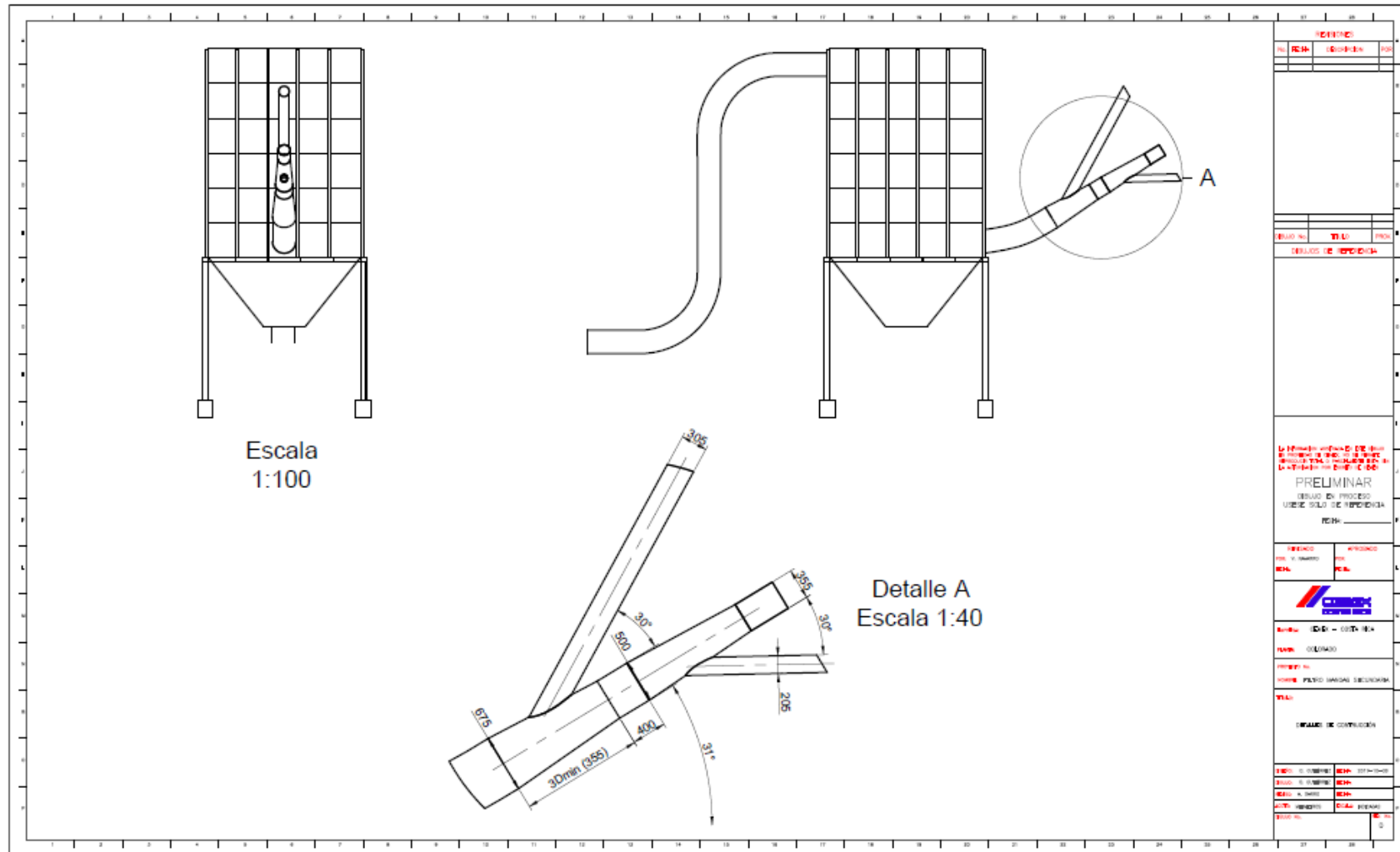


Figura 34. Detalles de conexión de tuberías ideal con prevista a la entrada del filtro.

Fuente: Elaboración propia (AutoCAD 2018).

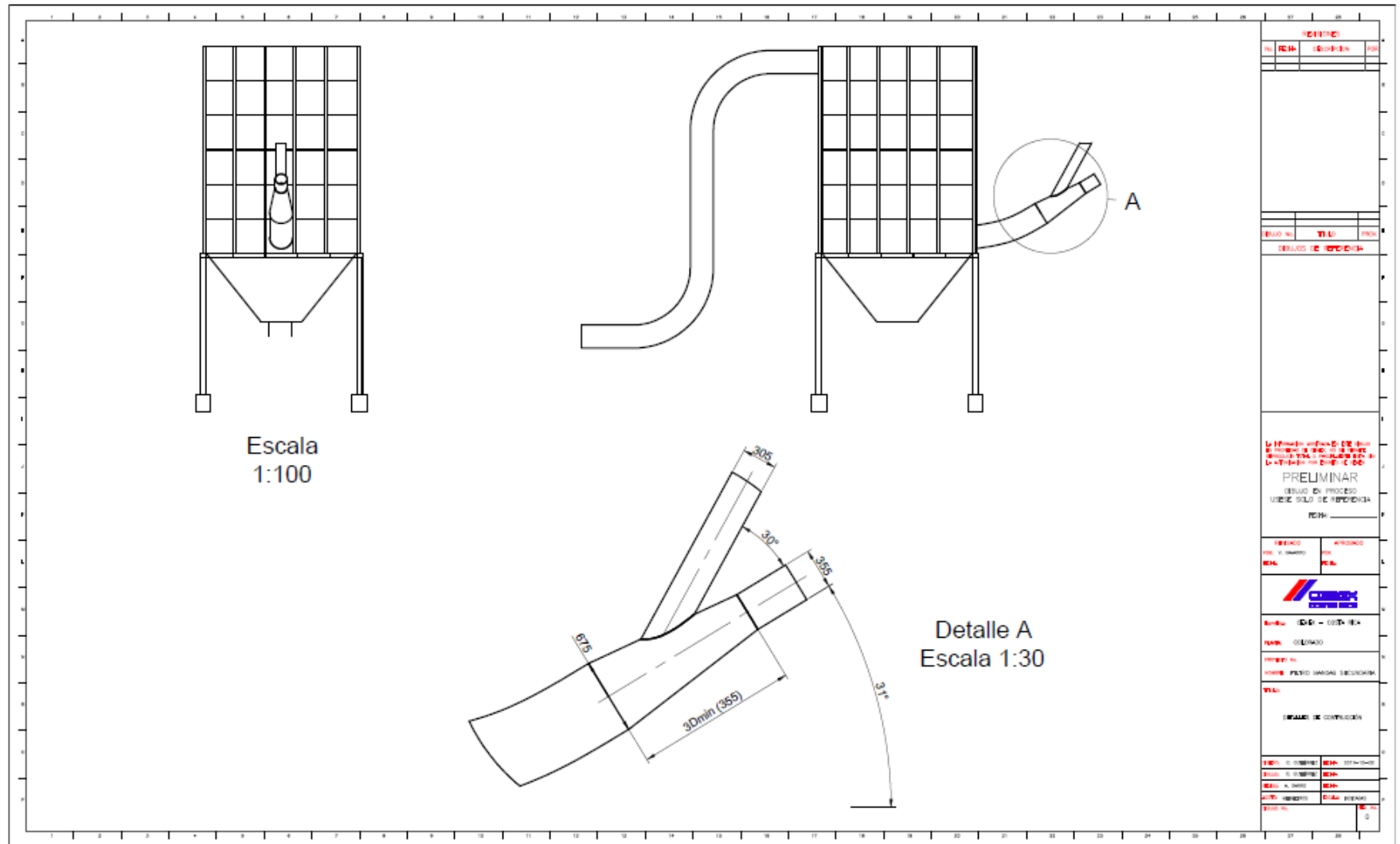



Figura 35. Detalles de conexión de tuberías ideal sin prevista a la entrada del filtro.

Fuente: Elaboración propia (AutoCAD 2018).

## ANEXOS

### Anexo 1: Puntos de generación de polvo y caudal necesario para desempolvar.



**PUNTOS DE GENERACION DE POLVO Y CANTIDAD DE AIRE NECESARIO PARA SU DESEMPOLVADURA**

GENERACION DE POLVO	VOLUMEN DE AIRE	DESCRIPCION	REFERENCIAS	OBSERVACIONES
AIRE RESIDUAL DEL ENFRIADOR DE PARRILLA DE CLINKER (ENFRIADOR FULLER)	$Q = 54,5 \text{ ft}^3 \text{ N}$	<p><math>Q \times \text{Lb. de clinker a temperatura de } 65 \text{ C}^\circ</math></p> <p>De este volumen 14,4 ft<sup>2</sup> N/Lb de clinker va como aire secundario horno y 40,1 ft<sup>3</sup> N/Lb de clinker es el aire residual del enfriador a tratar.</p>	M.T.C.	<p>1 <math>Q = \text{Volumen de clinker a tratar}</math></p> <p>2. Si se emplea a zona media para el tratamiento de materias primas debe disminuir la cantidad de aire residual del enfriador.</p>
CRIBAS	$Q = 200 \text{ cfm}$	$Q \times \text{ft}^2$ de la sección de abertura de la campana pero no menos de 50 cfm por ft <sup>2</sup> del área de la criba.	I.V. V S-307	Para cribas planas
	$Q = 100 \text{ cfm}$	$Q \times \text{ft}^2$ del área transversal circular de la criba. Por lo menos 400 cfm $\times$ ft <sup>2</sup> de la apertura de la carcasa.	I.V. VS-307	1. Para cribas rotatorias
	$Q = 49,3 \text{ cfm}$  Sumar $q = 98.4 \text{ cfm}$	$Q \times \text{ft}^2$ de la superficie del tamiz.  $Q \times \text{ft}^2$ de área de las aberturas (salidas).	M.T.C.	1. Para cribas vibratorias  2. Si la carcasa tiene aberturas tales como la de una u otra, deberá sumarse el valor de este volumen.
MAQUINA ENSACADORA	$Q = 500 \text{ cfm}$ $Q = 500 \text{ cfm}$ $Q = 950 \text{ cfm}$	$Q \times$ Tubo llenador. En tolva de alimentación. En tolva de sobrantes.	I.V. VS-302	
	$Q = 1236 \text{ cfm}$  Sumar $q = 106 \text{ cfm}$	$Q \times$ Boquilla de carga (tubo de llenado)  $Q \times$ Recipiente de equilibrio (Tolva de alimentación).	M.T.C.	

Figura 36. Caudal de desempolvo para enfriador de clinker, cribas y máquinas ensacadoras.

Fuente: (CEMEX, 2017).

PUNTOS DE GENERACION DE POLVO Y CANTIDAD DE AIRE NECESARIO PARA SU DESEMPOLVADURA				
GENERACION DE POLVO	VOLUMEN DE AIRE	DESCRIPCION	REFERENCIAS	OBSERVACIONES
VELOCIDAD DE BANDA MENOR DE 200 fpm.	Q = 350 cfm	Q x ft de ancho de banda.	I.V. VS-306	1. Para caída de material menor ó igual a máximo.
VELOCIDAD DE BANDA MAYOR DE 200 fpm.	Q = 500 cfm Sumar según sea el caso	Q x ft de ancho de banda.		2. Material muy pesado
TRANSFERENCIA TRANSPORTADOR DE BANDA.	q = 700 cfm	Para ancho de banda hasta 36"	I.V. VS-306	1. Para caída de material a 3'=0"
	q = 1000 cfm	Para ancho de banda mayor de 36"		2. Para material muy polvoso.
VELOCIDAD DE BANDA HASTA 200 fpm.	Q = 197 cfm	Q x ft <sup>2</sup> de la sección de la campana de aspiración.	M.T.C.	1. Para materiales
	Sumar según sea el caso q=323 cfm	q x ft de ancho de banda		2. El volumen adicional de aire deberá extraerse por el transportador inferior
VELOCIDAD DE BANDA MAYOR DE 200 fpm.	q=646 cfm	q x ft de ancho de banda		
MOLINO DE CEMENTO	Q=4 x Vol. cfm	Vol = Volumen interior del cuerpo del molino (ft <sup>3</sup> )	M.T.C.	
GASES RESIDUALES DE HORNO ROTATORIO	Q=45-56 ft <sup>3</sup> N Q=22.5-36.9 ft <sup>3</sup> N	Q x Lb de clinker en hornos para vía húmeda. Q x Lb de clinker en hornos de vía seca.	M.T.C.	1. Este volumen adicional "Q" se considera por minuto.
TOLVAS	Q=246 cfm	Q x ft <sup>2</sup> de la sección del recipiente	MT.C.	
TRANSPORTADOR HELICOIDAL	Q=200 cfm	Q x ft de diámetro del transportador.		
VOLCADOR DE VAGONES	Q = 52980 cfm (25m <sup>3</sup> /s).	Durante la descarga de grano fino.	M.T.C.	1. Los materiales húmedos no exigen aspirar cantidad de aire. 2. Capacidad de carretes de vagones de 30 a 50 toneladas.

Figura 37. Caudal de desempolvo para bandas transportadoras, molinos y tolvas.

Fuente: (CEMEX, 2017).



PUNTOS DE GENERACION DE POLVO Y CANTIDAD DE AIRE NECESARIO PARA SU DESEMPOLVADURA				
GENERACION DE POLVO	VOLUMEN AIRE	DESCRIPCION	REFERENCIA	OBSERVA
SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMATICO	$Q = 1.5 \times Q_c$	$Q_c$ = Capacidad de aire Suministrado por los compresores.	M.T.C.	1. Para bo Reci- pientes para ir  2. Considerar capacidad del sin presión.
MOLINOS DE CRUDO	$Q = 4 \times \text{Vol}$ cfm N.	Vol = Volumen interior del cuerpo del molino (ft <sup>3</sup> ).	M.T.C.	1. Para molin por gravedad.
	$Q = 32 - 40$ cfm N	$Q \times \text{Lb}$ de material molido.	M.T.C.	1. Para molin de aire.
SEPARADOR POR AIRE	$Q = 13.7-16$ cfm N.	$Q \times \text{Lb.}$ de clinker de material terminado. Este volumen es aplicado si el separador ha de actuar como enfriador de cemento o secado de materias primas.	M.T.C.	1. En la separa polvo, el separ con su propio
SILOS	$Q = 200$ cfm	$Q \times \text{ft}^2$ de toda el área abierta, aspirando polvo mediante una campana localizada sobre el silo.	I.V. VS-304	1. Se consider el chute del tra que descarga e
	$Q = 350-350$ cfm	Aspiración con una campana sobre el chute del transportador.	I.V. VS-304	1. Se consider velocidad del transportador
SECADOR DE MATERIAS PRIMAS	$Q = 12.8$ a $32 \text{ ft}^3 \text{ N.}$	$Q \times \text{Lb.}$ de material secado.	M.T.C.	1. Este volum considera por
ELEVADOR DE CANGILONES	$Q = 100$ cfm	$Q \times \text{ft}^2$ de la sección transversal de la carcaza.	M.T.C. I.V. VS-304	1. En elevador de 30 ft de alt sejable tener 2 aspiración.
DESLIZADORES	$Q = Q_s \times 1.2$	$Q_s$ = capacidad del soplador empleado.	M.T.C.	1. Aplicable a mezcla de cru de silos para f

Figura 38. Caudal de desempolvo para sistemas neumáticos, separadores, silos y elevadores.

Fuente: (CEMEX, 2017).

GENERACION DE POLVO	VOLUMEN DE AIRE	DESCRIPCION	REFERENCIAS	OBSERVACIONES
ALMACENES AL AIRE LIBRE	Q = 197 cfm	Q x ft2 de la parrilla de la descarga para camiones ó vagones de FFCC	M.T.C.	
TRITURACION	Q = 197 cfm	Q x ft2 de la abertura de la boca de alimentación del triturador.	M.T.C.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La cantidad de aire se ha de aspirar dependerá de la cantidad de material que se tritura.</li> <li>2. La producción de polvo se origina hasta el 2% de la humedad.</li> <li>3. La generación de polvo disminuye sustancialmente con humedad hasta 2% ó mayor.</li> <li>4. La generación de polvo se considera casi nula a una humedad hasta 8%.</li> <li>5. Con sistema de nebulización de agua por atomización se puede alcanzar una humedad hasta del 10%.</li> </ol>
CARGA A GRANEL	Q = 4750 cfm	Volumen de aspiración en la boca de carga del furgón.	M.T.C. Dibujo 10-15 1.001 CEMEX	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El valor tomado de M.T.C. es el volumen total de un furgón tipo 5 con 3 compartimientos y recomendación de M.T.C.</li> <li>2. Capacidad por compartimiento igual a 1583 ft3.</li> </ol>
	Q=1178 cfm	Volumen de aspiración en la boca de carga de un camión-tolva cementera.	M.T.C. Dibujo 10-PM-1.001 CEMEX	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valor tomado de M.T.C. es el volumen total de un camión-tolva con 4 compartimientos toneladas.</li> <li>2. Volumen por compartimiento 392.5 ft3 y recomendación M.T.C.</li> </ol>

Figura 39. Caudal de desempolvo para almacenes, trituradoras y carga a granel.

Fuente: (CEMEX, 2017).

## Anexo 2: Especificaciones técnicas de las válvulas de pulso.



### Technical Specification 'T' Series Pulse Jet Valves



#### Description

High performance diaphragm valve with threaded ports. Available with integral pilot or as remotely piloted valve. Outlet at 90° to inlet.

#### Suitable for

Dust collector applications, in particular for reverse pulse jet filter cleaning including bag filters, cartridge filters, envelope filters, ceramic filters, and sintered metal fibre filters.

#### Construction

Body: Aluminium (diecast)  
 Ferrule: 304 SS  
 Armature: 430FR SS  
 Seals: Nitrile or Viton (reinforced)  
 Spring: 304 SS  
 Screws: 302 SS  
 Diaphragm Seat: PA-6 (standard), Viton coated mild steel or High Density PE  
 Refer to Q Series Solenoid product data sheet for solenoid construction details.

#### Operation

Recommended on time range: 50-500ms  
 Recommended time between pulses: 1 minute or greater

#### Maintenance

Before conducting any maintenance activity on the system ensure that components are fully isolated from pressure and power supplies. Pressure and power should not be reapplied until the valve has been fully assembled. Diaphragm and pilot inspection should be conducted annually.

#### Approvals

- Atex II 2D Mechanical
- CSA (U.S) C22.2 No 139-1982, UL 429 (CA & RCA)
- C-Tick (CA)
- EMC 2004/108/EC (CA)
- Low Voltage Directive 2006/95/EC (CA)

#### Installation

1. Prepare supply and blowtube pipes to suit valve specification. Avoid installing valves underneath the tank.
2. Ensure tank and pipes are free from dirt, rust or other particulate.
3. Ensure supply air is clean and dry.
4. Mount valves to inlet pipes and blowtube to valves, ensuring no excess thread sealant can enter the valve itself.
5. Make electrical connections to solenoid or connect RCA pilot port to pilot valve (RCA valves only).
6. Apply moderate pressure to system and check for installation leaks.
7. Fully pressurise system.
8. Test fire and listen for proper actuation and crisp pulse noise.

#### Weights

Size	Integral Pilot (CA) Kg (lbs)	Remote Pilot (RCA) Kg (lbs)	Size	Integral Pilot (CA) Kg (lbs)	Remote Pilot (RCA) Kg (lbs)
10	NA	0.06 (0.14)	45	1.50 (3.30)	1.28 (2.83)
20	0.60 (1.31)	0.38 (0.83)	50	2.89 (6.38)	2.68 (5.92)
25	0.73 (1.61)	0.51 (1.13)	62	3.31 (7.30)	3.09 (6.82)
35	1.04 (2.28)	0.83 (1.83)	76	4.77 (10.52)	4.56 (10.04)

#### Maintenance Kits

Model	Nitrile	Viton	Low Temperature -60°C (-76°F) Min.	Includes
RCA10T	K1001	K1002	NA	Diaphragm kits include main and secondary diaphragms (where required) and all springs.
CA/RCA20T	K2000	K2007	NA	
CA/RCA25T	K2501	K2503	K2504	*These kits are for discontinued valves.
CA/RCA32T*	K2500	---	NA	
CA/RCA35T	K3500	K3501	K3502	
CA/RCA40T*	K4000	---	NA	
CA/RCA45T	K4502	K4503	K4522	
CA/RCA50/82T	K5004	K5000	NA	
CA/RCA76T	K7600	K7601	NA	
Pilot repair kit	K0380	K0384	NA	o-ring, armature assembly, armature spring, ferrule

#### Product Characteristics and Performance

Nom. Size	Port Size		Number of diaphragms	Kv	Flow	
	mm	in			Cv	
10	10	3/8	1	2.5	2.9	
20	20	3/4	1	12	14	
25	25	1	1	20	23	
35	40	1.5	1	36	42	
45	40	1.5	2	44	51	
50	50	2	2	76	88	
62	62	2.5	2	91	106	
76	76	3	2	144	167	

Pressure Range: 30(5) - 860(125) kPA(Psi)  
 Temperature Range: Nitrile Seals: -40°C (-40°F) to 82°C (179.6°F)  
 Viton Seals: -29°C (-20.2°F) to 232°C (449.6°F)

Figura 40. Características técnicas de la válvula de pulsos marca GOYEN.

Fuente: (Altec, 2017).

## Anexo 3: Especificaciones técnicas de las cajas de válvulas piloto.



Especificaciones Técnicas Cajas de Válvula Piloto NEMA4/ Hermético contra lluvia/ATEXII 3 D G (válvula 5, 8, 12)

Cajas de aluminio para válvulas piloto Goyen RCA3D, disponibles opcionalmente con calentador anti-condensación.



### Adecuados para

ATEX Categoría 3 D y G, y todas las restantes aplicaciones no peligrosas para pilotar válvulas de diafragma Goyen.

### Instalación

Asegúrese de que el dispositivo está desconectado de la corriente antes de abrir la caja. Todas estas cajas están acabadas con las terminales de solenoide comunes pre-cableadas.

Para una operación fiable, asegúrese de que el voltaje suministrado está dentro de un -10% y un +15% del voltaje de régimen del solenoide.

Para garantizar el rendimiento de las cajas NEMA4, asegúrese de que la junta esté en su lugar cuando una la tapa a la base de la caja.

Reemplace los componentes dentro del plazo de 1 millón de ciclos (refiérase a Repuestos).

### Construcción

**Cuerpo:** Al 2011-T3

**Cuerpo de piloto:** Al 2011-T3

**Núcleo:** 302 SS

**Vástago:** 430FR SS

**Juntas:** Nitrilo

**Tornillos:** 302 SS

**Arandela abrazadera:** Acero (recubierto)

**Tipo de rosca de válvula piloto:** PA-6

**Tipo de rosca de entrada de conducto:** PA-6

### Opciones

Ninguna

### Rendimiento de producto

Flujo	Presión de trabajo Máxima	Presión de trabajo mínima	Temperatura mín.	Temperatura Máx.	Medios Fluidos
0.32 Cv	860 kPa	0 kPa	-40°C	82°C	Aire o
0.27 Kv	125 psi	0 psi	-40°F	180°F	Gas inerte

Refiérase a las especificaciones de producto de los Solenoides serie Q para obtener detalles de rendimiento eléctrico.

### Operación

**Recomendada en un rango de tiempo de:** 50-500ms

**Tiempo recomendado entre pulsos:** 1 minuto o más

### Aprobaciones

- C-Tick
- EMC (89/336/CE)

### Repuestos

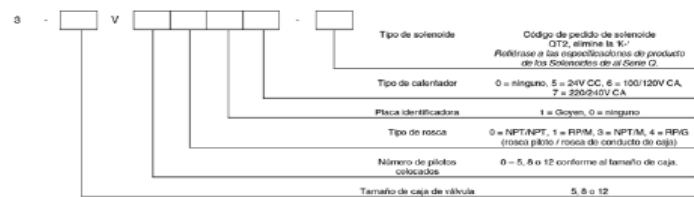
K0380 kit de núcleo, muelle, vástago, junta.

K0384 Como el anterior en Vitón.

RCA3D0-\*\*\* Montajes de piloto de reemplazo.

RCA3D1-\*\*\* Refiérase a la hoja de datos de producto de Piloto Remoto RCA3D.

### Código de pedido



Ejemplo: 3-8V6010-330

Caja de 8 válvulas, equipada con 6 pilotos, con tipo de rosca de conducto y piloto NPT, placa identificadora Goyen, sin elemento calentador y solenoides de 220/240V CA 50/60Hz.

Observe que las cajas están pre-cableadas con solenoides de tipo QT2 exclusivamente.

Figura 41. Características técnicas de la caja de válvulas piloto marca GOYEN.

Fuente: (Altec, 2017).

## Anexo 4: Cotización y especificaciones del ventilador seleccionado.



Fläkt México Fans, S.A. de C.V.  
CEMEX COSTA RICA S.A.



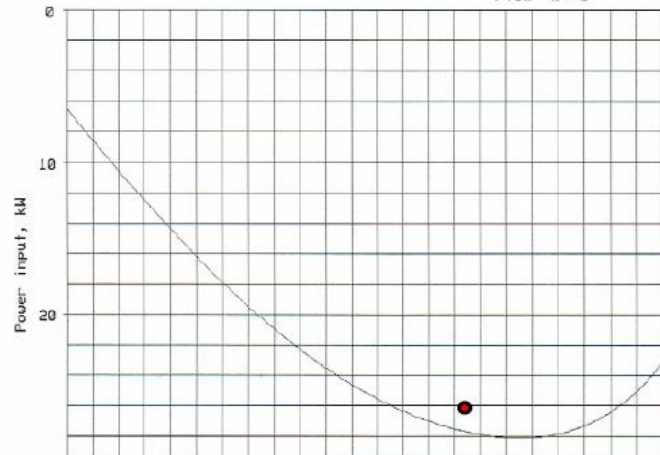
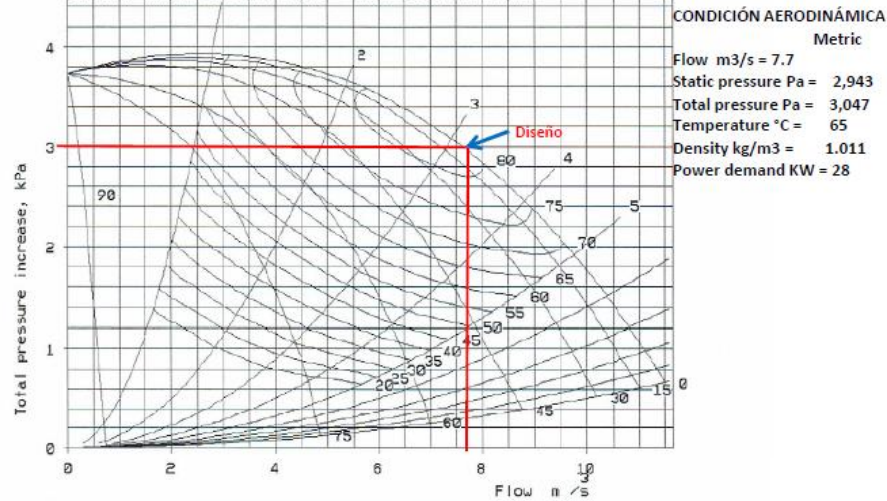
Fecha Septiembre 11, 2017	OFERTA TÉCNICA	No. de Cotización 1071K1363NMS
------------------------------	----------------	-----------------------------------

### VENTILADOR FILTRO DE MANGAS 1

#### 1.2 CURVA DE OPERACIÓN

CEMEX COSTA RICA FILTRO DE MANGAS 1 HACE-083-917-cc-d-e Guide vane control	1071K1368 Appendix NMS 2017-09-12
---	--

Density : 1.011 kg/m<sup>3</sup>, Speed : 1770 r/min  
Compressible gas, Barometric pressure 1010 mBAR  
Static inlet pressure 1.00 \* Total pressure incr.



Fläkt México Fans, S.A. de C.V.

Figura 42. Curva característica del ventilador marca Fläkt.



**Fläkt México Fans, SA de CV**  
Starting Characteristics

Fan : Ventiladores Filtro de Mangas  
Customer : CEMEX COSTA RICA S.A.  
Fan Number : 1071K1363NMS

	<u>DISEÑO</u>		<u>FILTRO DE MANGAS 1</u>	
Operating Speed :	<b>1,770</b>	RPM		
Power Consumption :	<b>28</b>	Kw	<b>37.53</b>	BHp
Minimum Recommended Motor :	<b>34</b>	Kw	<b>45</b>	Hp
Motor Characteristics :				
Fan Torque :	<b>151</b>	Nm		
Moment of Inertia (WR <sup>2</sup> ) :	<b>8</b>	Kgm <sup>2</sup>		
	<u>Load Conditions</u>	<u>Operación</u>	—	
	Flow :	7.70	m <sup>3</sup> /s	
	Total Pressure Rise :	2,943	Pa	

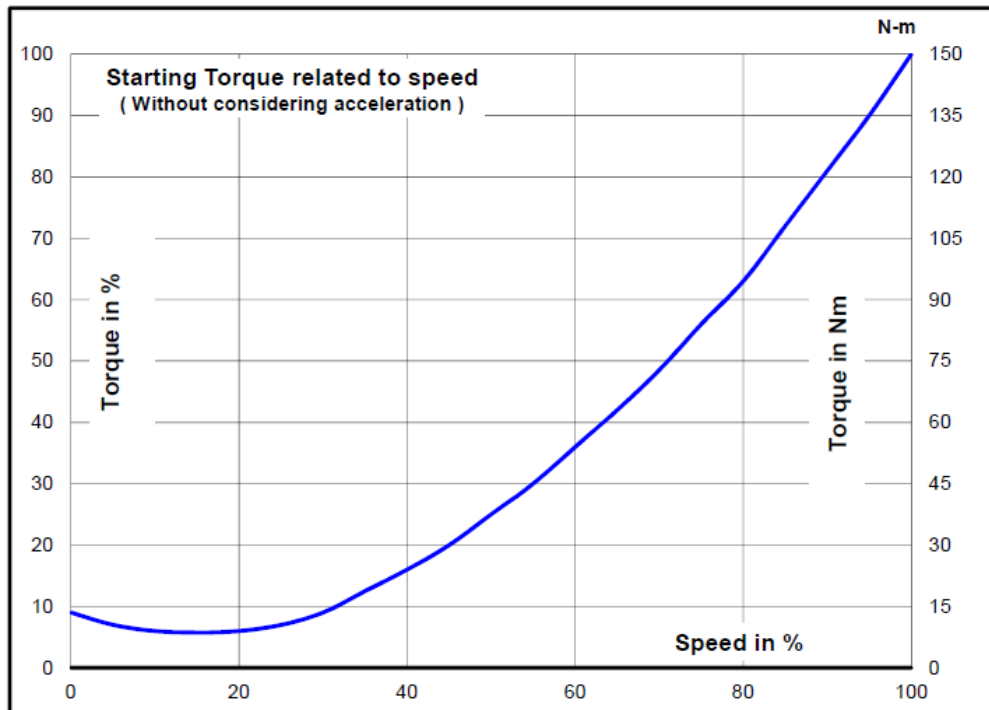


Figura 43. Características mecánicas del ventilador marca Fläkt.



## Ventiladores Filtro de Mangas

### 2. TERMINOS COMERCIALES

#### 2.1 Lista de Precios.

Part.	Cant.	Descripción de la parte	Precio Unitario USD	Precio Total USD
1	1	<b>Ventilador filtro de mangas 1.</b> Ventilador marca Fläkt modelo HACB-063-914, arreglo AMCA #8, simple ancho, una entrada, para ser manejado por medio de motor eléctrico, acoplado a motor mediante cople flexible, de acuerdo al alcance descrito en la oferta técnica anexa	\$ 13,280.00	\$ 13,280.00
2	1	<b>Ventilador filtro de mangas 2.</b> Ventilador marca Fläkt modelo HACB-063-879, arreglo AMCA #8, simple ancho, una entrada, para ser manejado por medio de motor eléctrico, acoplado a motor mediante cople flexible, de acuerdo al alcance descrito en la oferta técnica anexa	\$ 12,920.00	\$ 12,920.00
3	2	<b>Opcional.</b> Compuerta de alabes directrices modelo HXAG-063, para regulación del flujo en succión de ventilador HACB-063.	\$ 1,420.00	\$ 2,840.00
4	2	<b>Opcional.</b> Juego (2 piezas) de sensores de vibración marca METRIX modelo ST5491E, con indicador local y señal de salida de 4 - 20 mA. Para chumaceras de ventilador	\$ 4,480.00	\$ 8,960.00
5	2	<b>Opcional.</b> Juego (2 piezas) de sensores de temperatura RTD PT 100 marca CONAX, NEMA 4X, Clase B, para chumaceras de ventilador Fläkt HACB-063-154.	\$ 2,750.00	\$ 5,500.00

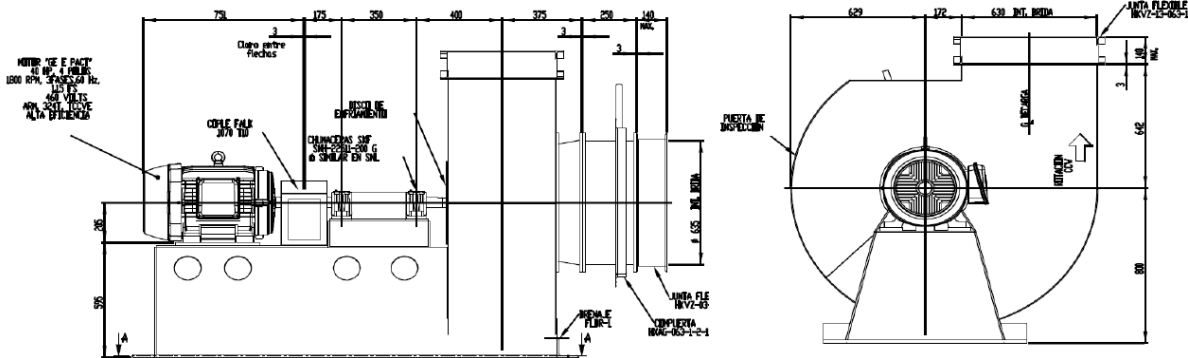


Figura 44. Lista de precios del ventilador marca Flakt y partes de montaje.

Fuente: (FLAKT, 2017).

## Anexo 5: Cotización de las cajas de válvulas piloto.

ZÚRO CAMAFE MULTISERVICIOS, SRL.  
3-102-686735  
Teléfono: 88 81 03 40  
Urb. Vista Al Valle  
Aserri, San José  
Email: [carloszcr@ice.co.cr](mailto:carloszcr@ice.co.cr) [carloszcr@hotmail.com](mailto:carloszcr@hotmail.com)

Cot.: 0010617

01 de junio de 2017.

Señores:  
Abastos  
Cemex Costa Rica.

Estimados señores:

A continuación, les brindo la oferta por los siguientes suministros:

Descripción	Cant.	Precio unitario	MONTO
Caja de aluminio Goyen, con 6 válvulas piloto, NEMA 4, 1/4" NPT 120VAC. Número de parte: 5-6V6000-530	5	\$962,24	\$4.811,20
<b>Sub total:</b>			<b>\$4.811,20</b>
<b>Impuesto de ventas:</b>			<b>\$625,46</b>
<b>Total:</b>			<b>\$5.436,66</b>

Tiempo de entrega 10 días hábiles.

Figura 45. Cotización de las cajas de válvulas piloto marca GOYEN.

Fuente: (CEMEX, 2017).



## Anexo 6: Cotización de válvulas de pulsos.



### COTIZACION

Cotización No. : 05622  
Bogotá, Julio 25

DE: TEXTILES INDUSTRIALES S.A  
PARA: CEMEX COSTA RICA  
Atn. Ing. Antonio Ferro  
Departamento de Abastos  
Costa Rica

Nos permitimos cotizar los elementos requeridos por Ud.(s), según solicitud de ,asi

( cod 1000085896 )

01	30	kit diafragma RCA 25FS Ref (M1183B) ( 1'' ) Marca Goyen	US \$ 41.00
----	----	---	-------------

Precios Ex work


TIEMPO DE ENTREGA : 2 días a partir de la orden de compra  
FORMA DE PAGO: Giro Directo  
VALIDEZ DE LA OFERTA: 30 días.

JHON MOSCOSO S.  
TEXTILES INDUSTRIALES

Figura 46. Cotización de válvulas de pulsos marca GOYEN.

Fuente: (CEMEX, 2017).

## Anexo 7: Propuesta económica del filtro de mangas por la empresa EXAUSFIBRA.

 <b>EXAUSFIBRA</b> INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE EXAUSTORES LTDA.	EXAUSFIBRA IND. COM. EXAUSTORES LTDA Rua Capitão Busse , 862 CEP: 02232-050 SÃO PAULO - SP FONE/FAX: 11- 22429486/22425300 E-mail: exausfibra@uol.com.br SITE: www.exausfibra.com.br
---	--

São Paulo, 04 DE OUTUBRO de 2017.

À  
CEMEX

ATT: Sr.: Greivin Gutierrez  
FONE: 84508792  
E-MAIL: gregutbre@outlook.com

Orç. 0574.17

REF: **FORNECIMENTO DE SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO**

Prezados Senhores:

Atendendo a solicitação de V.S.as., temos com a presente o prazer de submeter à vossa apreciação nossa proposta para o fornecimento em referencia .

### DESCRIÇÃO DO FORNECIMENTO

Segue abaixo a cotação do equipamento da nossa linha de fabricação que mais se aproxima do solicitado:

#### **FILTRO DE MANGA FECHADO - LIMPEZA TIPO JATO PULSANTE -50**

Fabricado em chapa aço-carbono, e perfis em cantomeira, com acabamento em pintura esmalte sintético.

#### **DADOS TÉCNICOS**

Vazão de 15.000m<sup>3</sup>/h  
Medindo 5.150mm de altura e 2.750 x 6.000 mm conforme catalogo anexo.

#### **FUNCIONAMENTO:**

Sistema totalmente fechado onde a limpeza das mangas é realizada através de válvulas solenóides, que joga um jato de ar comprimido no interior da manga, provocando um pulso de pressão, fazendo com que grande parte do material particulado se desprenda do feltro, ficando armazenado abaixo até sua retirada manual.

No processo de remoção do pó, somente será retirado o excesso do produto pois devemos manter uma pequena camada de pó sobre o tecido, para garantir a auto-filtração ocasionando a melhoria da eficiência.

#### **CONTEM :**

Reservatório na parte inferior para depósito das particulas.  
Sistema de descarga manual do material retido.  
50 (cinquenta) Mangas filtrantes .  
50 (cinquenta) Gaiolas galvanizadas com venture acoplado.  
10 (duas) Válvula solenóide

3 ( três) Sequenciadores  
Exaustor Centrifugo tipo Radial.

#### DETALHAMENTO TÉCNICO :

#### EXAUSTOR CENTRIFUGO MOD. EC 675-VCR

Tipo caracol, fabricado em chapa de aço carbono com acabamento em pintura esmalte sintético.

VAZÃO ..... 24.000 m<sup>3</sup>/h.  
PRESSÃO ..... 115 mmCA  
MOTOR ..... WEG blindado trifásico IP 55 60 HZ 30 CV 4 pólos 220/380V  
TRANSMISSÃO Direto pelo eixo do Motor  
ROTAÇÃO ..... 1750 RPM  
ROTOR ..... Tipo Radial em chapa balanceado estático e dinamicamente.  
SUÇÃO ..... Ø 540  
DESCARGA ..... 540x400mm

#### MANGAS

Em tecido de feltro agulhado 100% poliéster 450grs , fundo tipo tampão com cordão e bocal com bainha para abraçadeira. Acabamento chamuscado calandrado e termofixado na face externa. Medindo Ø 220 x 2400mm.

#### VÁLVULA SOLENÓIDE:

Válvulas solenóides para pulso em filtros de manga, 2 vias, corpo em alumínio, vedação em *hytrel*, conexão de 3/4" BSP, orifício interno de 29 mm, pressão de trabalho min. de 0,5 bar pressão máx. de 10 bar, temperatura máx. do fluido 80°C, bobina encapsulada classe F proteção IP 65, *conector plug in*, potência 6W, voltagem 220 / 60 HZ.

#### SEQUENCIADOR:

Sequenciador eletrônico, 110-220 volts, saída mesma tensão de entrada para controle de válvulas.

#### REDE DE TUBULAÇÃO:

Fabricado em chapa de aço-carbono bitola 18, com acabamento em pintura esmalte sintético.

Não foi orçado

#### SISTEMA DE CAPTAÇÃO:

Não foi orçado

**Valor do Sistema de Filtragem..... RS 102.000,00**

Figura 47. Cotización del filtro de mangas a la empresa EXAUSFIBRA, Brasil.

Fuente: (EXAUSFIBRA, 2017).

