

# Diseño de un sistema de extracción de polvo para la empresa Insomet (división Telartec perteneciente al grupo empresarial Gerardo Ortiz

Juan Pablo Niveló Chalco\*  
Juan Eduardo Ugalde Pacheco\*  
Nelson Jara Cobos\*\*

## Resumen

En el presente trabajo se ha propuesto el diseño de un sistema mecánico para dar solución a la problemática de contaminación del aire con partículas de almidones y algodones que está generando malestar a nivel general, pero específicamente al personal que trabaja en planta de Telartec.

Para este diseño se ha considerado, en primera instancia, determinar con exactitud el tipo de contaminante, su volumen y los problemas que está generando; en segundo lugar ha sido necesario estudiar diferentes sistemas de extracción de este tipo de contaminantes y luego de conocerlos se ha establecido el modelo más idó-

---

\* Ingeniero mecánico graduado en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) – Cuenca.

\*\* Ingeniero mecánico. Profesor de la Carrera de Ingeniería Mecánica UPS – Cuenca.

neo para la aplicación en el caso específico de la planta de Telartec. Aplicando todos los conocimientos de ingeniería, se ha diseñado el sistema de extracción de partículas de almidón y algodón para una de las plantas de producción de telas en donde se alberga alrededor de 60 telares de la marca suiza Sulzer.

Gracias a este proyecto se cuenta con toda la información para realizar la construcción y la correspondiente implementación del sistema de extracción de polvos, el mismo que, con seguridad, va a solventar la problemática presentada en la empresa Insomet.

## **Abstract**

This work has been proposed to design a mechanical system to solve the existing problems of air pollution with particles of starch and cotton that is causing discomfort to the general level and specifically on staff working on the Telartec's ground.

For this design has been considered in the first instance to determine exactly the type of pollutant and its volume is causing problems, secondly it was necessary to study different extraction systems such pollutants, know that after the model has been established most suitable for application in the specific case Telartec-plant. Using all the knowledge engineering has designed the exhaust system of particles of starch and cotton for the fabric production plants where about 60 houses looms the Swiss Sulzer.

Thanks to this project we have all the information to perform the construction and implementation of an appropriated dust extraction system, as with security is going to solve the problems presented in the company Insomet.

**Palabras clave:** malestares, producción, Sulzer, solventar problemas, extracción.

**Keywords:** aches, production, Sulzer, solve problems, extracting.

## Introducción

Se busca analizar las alternativas tecnológicas para la extracción de polvos, segmentando el estudio de los principios de funcionamiento y las tecnologías utilizadas en la industria. De tal forma que se pueda establecer ventajas y desventajas entre tecnologías que se orienten hacia la selección más idónea del principio de funcionamiento a utilizarse en la propuesta del diseño para solucionar el problema.

Con este *collage* de información se procede a diseñar un sistema de extracción de polvos, detallando todos los procedimientos de cálculo requeridos para justificar la propuesta. Se inicia con el análisis del sistema de tuberías, las pérdidas de presión generadas, el dimensionamiento y diseño del sistema de filtrado y de sistema colector, terminando con la selección del ventilador más apropiado para extraer el flujo másico de aire contaminado que se ha calculado.

En cuanto al sistema de tuberías, se ha realizado el tradicional análisis por método de Darcy Weisbach, iterando los procesos de cálculo.

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Sin embargo, para fundamentar más el diseño, se utiliza el software Pipe Flow Expert, en donde se puede corroborar los datos obtenidos en el análisis y con ello se logra solidificar la propuesta planteada.

## Materiales y métodos

Antes de realizar las simulaciones de los distintos modelos para la empresa Insomet, los autores del presente trabajo hemos obtenido del muestreo y el análisis datos del aire en la zona de estudio.

Es importante conocer el estado del polvo en el ambiente analizado y para ello se ha procedido a realizar un análisis experimental o empírico.

### Análisis experimental

Se ha realizado una recolección diaria del polvo que se ha precipitado hacia el suelo de la planta.

UNIDADES	KILOGRAMOS	KILOGRAMOS	KILOGRAMOS
DÍAS	Martes 13 de Julio	Miércoles 14 de julio	Jueves 15 de julio
TOTAL 24 horas	61,02	58,93	57,10
PROMEDIO DIARIO	59,017		

**Tabla 1.** Muestreo de recolección de polvo

Dado que el área en estudio posee 60 telares, se realiza una aproximación aritmética con el dato anteriormente mencionado.

$$\text{Promedio}_{60 \text{ telares}} = \frac{60 \cdot \text{Promedio}_{35 \text{ telares}}}{35}$$

$$\text{Promedio}_{60 \text{ telares}} = \frac{60 \cdot 59,017}{35}$$

$$\text{Promedio}_{60 \text{ telares}} = 101,172 \text{ kg/día}$$

Dicho muestreo se lo ha realizado considerando los sectores en que se divide la planta para la limpieza. Cada 5 telares, aproximadamente, existe un obrero responsable de mantener la limpieza y recolección constante del polvo durante su turno en su sector.

Meticulosamente se ha verificado que durante tres días consecutivos se mantenga en condiciones estables la recolección, eso quiere decir que se ha tenido cuidado que no se deposite en los recipientes algún otro material que no sea el polvo generado por la producción de las telas. Cabe recalcar que el muestreo se lo ha realizado para 7 sectores de la planta, lo que correspondería a 35 telares de los 60 en estudio.

## **Alternativas tecnológicas para la extracción de polvos**

En el mercado existen muchas empresas que se dedican a la venta, diseño, instalación y prueba de equipos de control, extracción y almacenamiento de contaminantes tipo partículas. Con este tipo de empresas, la ingeniería debe tratar de dar solución a algunos de los problemas de contaminación ambiental, por ello es necesario tener una idea general de las principales características de algunos equipos de control que existen en la actualidad, al igual que es ineludible saber las características del contaminante en suspensión para su futuro control, extracción y almacenamiento.

### *Tipos y principios de funcionamiento de la extracción de polvos*

En cuanto a los tipos y principios de sistemas de extracción de polvos, se puede enlistar los más importantes y sobre todo los más empleados en la industria:

Proceso de extracción a través de cámaras de sedimentación

Proceso de extracción a través de separadores centrífugos

Proceso de extracción a través de colectores húmedos

Proceso de extracción a través de filtros de tela

Proceso de extracción a través de precipitadores electrostáticos

Proceso de extracción a través de precipitadores electrostáticos húmedos

Dentro de los sistemas de extracción de polvo empleados en la industria, el tipo de equipo a utilizar para controlar un contaminante de tipo partícula, no solo depende del tamaño de las mismas, sino también de sus características físicas y químicas.

De nada servirá un filtro de tela con material húmedo o con alta temperatura ni funcionará un precipitador electrostático si el material a capturar no se puede ionizar. Por ello se deberán conocer las características físicas, químicas y las limitaciones operativas de los equipos de control.

A continuación se hace una pequeña descripción de los equipos de control de polvos y gases de manera que se establezcan sus características de operación.

<b>Equipo</b>	<b>Rango de partículas que atrapa en micras</b>
Precipitadores electrostáticos	0,01 a 90
Torres empacadas	0,01 a 100
Filtros de papel	0,005 a 8
Filtros de tela	0,05 a 90
Lavadores de gases	0,05 a 100
Separadores centrífugos	5 a 1000
Cámaras de sedimentación	10 a 10000

**Tabla 2.** Características de operación de equipos

## **Diseño del sistema para la extracción de polvos**

Una vez ya determinada una necesidad indispensable en esta planta productora, como es el problema de manejo de polvos y su recolección, se procede con los cálculos, dimensionamiento y análisis para fundamentar la propuesta del sistema de extracción.

### *Flujo volumétrico de extracción de aire contaminado*

Para dimensionar los componentes del sistema es obligatorio conocer el volumen de aire que se deberá transportar, este se lo puede determinar relacionando el flujo de masa de polvo que va a ser capturado con una carga de sólidos-aire en fase diluida  $R = 0,5\%$ .

$$\text{Ecuación 2.1: } R = \frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_f}$$

Donde  $\dot{m}_p$  es el flujo másico de partículas a extraer y  $\dot{m}_f$  es el flujo másico de aire a extraer.

### *Dimensionamiento de campanas de extracción de polvos*

Aunque los nombres de ciertas campanas varían dependiendo de qué fuente se consulte, hay acuerdo general en cómo se clasifican. Hay cuatro tipos de campanas: 1) de envoltura, 2) de cabinas, 3) campanas de captura y 4) campanas receptoras.

Las de envolturas son de dos tipos: 1) aquellas que están completamente cerradas al ambiente exterior y 2) aquellas que tienen aberturas para la entrada/salida de material. El primer tipo es utilizado solamente cuando se trata de material radioactivo, el cual debe manejarse con manipuladores remotos. Son herméticas a polvos y gas y raramente son utilizadas en el control de la contaminación del aire.

El segundo tipo tiene aplicaciones en varias áreas como el control de emisiones de hornos de arco eléctrico y de operaciones de estampado y llenado de recipientes de carga. Sin embargo, el área para estas aberturas debe ser pequeña comparada con el área total de las paredes de la envoltura (típicamente 5% o menos).

Las superficies de envolturas totales temporales son construidas usualmente con película de plástico. Las cabinas son como envolturas que rodean a la fuente de emisión, excepto una pared (o porción de esta) que permite el acceso a operadores y el equipo.

Como las envolturas, las cabinas deben ser lo suficientemente grandes para prevenir que los particulados incidan sobre las paredes interiores. Son utilizadas con operaciones (y fuentes de emisión) como rociadores de pintura y esmerilado portátil, pulido y operaciones de abrillantado.

En la planta productora Telartec se considera como fuente de contaminación al trabajo de tejido de cada uno de los telares, pues, como se ha indicado anteriormente, se desprende material particulado hacia el ambiente.

Para este cálculo de campanas de toldo (o libremente suspendidas), se puede emplear la siguiente fórmula:

$$\text{Ecuación 2.2: } Q \text{ (m}^3\text{/h)} = 3.600 (10 \cdot d^2 + S) \cdot V_a$$

Donde Q es el caudal en la campana (m<sup>3</sup>/h), d es la distancia de la campana a la fuente del contaminante, S es la sección final de la campana (m<sup>2</sup>) y V<sub>a</sub> es la velocidad de captura del material en la campana (m/s).

Para la distancia d se ha realizado un esquema tentativo entre el telar y un la campana de extracción, de donde se deduce que aproximadamente se tendrá unos 2 metros entre la campana y la emanación de las partículas desde los telares.

### *Dimensionamiento de conductos y líneas de transporte*

En cuanto a las líneas de transporte del sistema de extracción, es necesario partir este análisis con el dato de la velocidad en conductos de 15 m/s, cabe recalcar que dicha velocidad es la de la tubería en el nodo final para posteriormente dirigirse al sistema de filtrado, por tanto, en el cálculo iterativo se determinará la velocidad real en cada tubería.

Una vez que se han identificado los caudales en cada nodo y en cada línea de conducción, se procede a realizar el dimensiona-

miento o cálculo del área del conducto en cada tramo, en base a la ecuación 2.3, donde  $Q_i$  es el caudal,  $A_i$  es el área del conducto y  $v_i$  es la velocidad para el tramo  $i$ .

$$\text{Ecuación 2.3: } A_i = \frac{Q_i}{v_i}$$

Con ello se va determinando el diámetro calculado ( $D_i$ ) para el tramo  $i$ , de acuerdo a la ecuación 2.4. Sin embargo, es necesario escoger un diámetro comercial de forma que, posteriormente, se verifique la velocidad real en cada conducto.

$$\text{Ecuación 2.4: } D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot A_i}{\pi}}$$

#### *Condiciones iniciales de cálculo*

Temperatura de trabajo  $T_a = 20^\circ \text{ C}$  correspondiente a  $293,15^\circ \text{ K} = 527,67^\circ \text{ R}$

Temperatura constante del aire  $T_s = 298^\circ \text{ K}$

Constante ideal del aire  $R = 287 \text{ J / Kg} \cdot \text{K}$

Diseño de tuberías en acero inoxidable de rugosidad =  $4,6\text{E-}2 \text{ mm}$

Presión atmosférica  $1,0129 \text{ Bar} = 101.290 \text{ KPa}$

Presión interna de tubería (impuesta) =  $20 \text{ psi} = 137,89514 \text{ KPa}$

Adicionalmente, se determina la densidad del aire (ecuación 2.5) a una temperatura atmosférica de  $20^\circ \text{ C}$  y considerando la altura a la que se ubica la ciudad de Cuenca:

$$\text{Ecuación 2.5: } \rho = \frac{P_{\text{atm}}}{R(T_o + \beta \cdot \gamma)}$$

En donde  $\beta = -0,00645^\circ \text{ K/m}$  es una constante de corrección que se encuentra íntimamente relacionada con la altura sobre el nivel del mar a la que el fluido a calcular se encuentra. Además,  $\gamma = 2800$  metros sobre el nivel del mar, pues es la altura a la que se encuentra Cuenca.

Una vez determinados estos datos, se procede al cálculo de la viscosidad estática del aire a  $20^\circ \text{ C}$ :

$$\text{Ecuación 2.6: } n = n_o \left( \frac{a}{b} \right) \left( \frac{T}{T_o} \right)^{3/2}$$

Seguidamente, se requiere obtener la viscosidad cinemática del aire a  $20^\circ \text{ C}$ :

$$\text{Ecuación 2.7: } \nu = \frac{n}{\rho}$$

Establecidos los datos anteriores se procede al cálculo del “número de Reynolds”:

$$\text{Ecuación 2.8: } Re = \frac{n \cdot D_i}{\nu}$$

Finalmente, es necesario considerar las pérdidas dentro del sistema con su respectiva caída de presión, tal es el caso de las pérdidas acumuladas por la fricción en cada una de las tuberías y de igual manera las pérdidas que se producen en cada uno de los accesorios.

El método que se ha considerado adecuado para la resolución de la problemática es el modelo de Darcy Weisbach:

$$\text{Ecuación 2.9: } h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

En donde  $h_f$  es la pérdida de carga debida a la fricción,  $f$  es el factor de fricción de Darcy,  $L$  es la longitud de la tubería,  $D$  es el diámetro de la tubería,  $v$  es la velocidad media del fluido,  $g$  es la aceleración de la gravedad  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

El factor de fricción  $f$  es adimensional y varía de acuerdo a los parámetros de la tubería y del flujo. Este puede ser conocido con una gran exactitud dentro de ciertos regímenes de flujo. Para ello se ha procedido mediante la fórmula de Colebrook (ecuación 3.10) que se ha implementado en una macro dentro de las tablas de cálculo.

$$\text{Ecuación 3.10: } f_i = \frac{1}{\left[ -2 \cdot \text{Log} \left( \frac{ru}{3.75 \cdot D} + \frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f_0}} \right) \right]^2}$$

En donde  $f_i$  es el factor de fricción resultante,  $f_0$  es el factor de fricción de entrada,  $D$  es el diámetro comercial de la tubería,  $\text{Re}$  es el “número de Reynolds”,  $ru$  es la rugosidad de la tubería.

Respecto a las pérdidas que se producen por accesorios (ecuación 3.11), estas dependerán principalmente de la geometría de los mismos. Todas las pérdidas localizadas son solamente función de la velocidad:

$$\text{Ecuación 3.11: } k \cdot \frac{v^2}{2g}$$

## Dimensionamiento del colector de polvo

Los colectores de polvo, con filtros de mangas, son diseñados de acuerdo a las siguientes variables: caída de presión a través de las mangas, relación aire-tela, caudal requerido y eficiencia de

colección, la cual normalmente es mayor que 99,9% recolectando un tamaño de partículas mayor que 50  $\mu\text{m}$ .

### *Dimensionamiento*

El parámetro que define el número de mangas y sus dimensiones es el caudal que ingresará al sistema de filtrado. En este caso, se maneja  $1006,44 \text{ m}^3/\text{hr} = 16,7733 \text{ m}^3/\text{min}$ . Con este dato, las dimensiones del colector serán establecidas en base a la siguiente tabla.

Modelo	Cant. de mangas	Superficie filtrante ( $\text{m}^2$ )	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Rango de caudal de aire (*) ( $\text{m}^3/\text{min}$ )
CPM-9/12	9	4	660	660	3300	4 a 12
CPM-16/24	16	14	840	840	4650	14 a 42
CPM-25/24	25	22	1020	1020	4800	22 a 66
CPM-36/24	36	32	1200	1200	4950	32 a 96
CPM-49/24	49	43	1380	1380	5100	43 a 129
CPM-64/24	64	56	1560	1560	5250	56 a 168
CPM-81/24	81	72	1740	1740	5400	72 a 216
CPM-90/24	90	79	1920	1920	5600	79 a 237
CPM-100/24	100	88	1920	1920	5600	88 a 264
CPM-120/24	120	106	2280	1920	5900	106 a 318
CPM-144/24	144	127	2280	2280	5900	127 a 381

**Tabla 3.** Dimensiones estándar de la estructura del colector para mangas de 2.400 mm

### *Velocidad de filtrado*

Es necesario conocer las condiciones de entrada del flujo de aire que se va a filtrar, es decir: su caudal, la concentración de partículas en dicho caudal, la temperatura a la que se encuentra, el diámetro de partícula promedio y el tipo de partícula que se va a colectar.

Caudal requerido =  $16.7773 \text{ m}^3/\text{s} = 592,345 \text{ ft}^3/\text{min}$

Temperatura del aire  $T = 20^\circ \text{ C} = 68^\circ \text{ F}$

Concentración  $C = \text{flujo másico/caudal} = 4,847 \text{ (kg/hr)} / 1006,44 \text{ (m}^3/\text{hr)} = 0,004816 \text{ kg/m}^3 = 0,136379 \text{ gr/ft}^3$

Tipo de polvo = partículas de almidón, poliéster, algodón

Diámetro partícula  $12 \mu\text{m}$

Los fabricantes han desarrollado ecuaciones y nomogramas que permiten obtener la relación gas-tela (ecuación 3.13) para Baghouses Pulse-Jet, para lo cual se tiene la siguiente ecuación:

Ecuación 3.13:

$$V_f = 2.278 \cdot A \cdot B \cdot T^{-0.2335} \cdot C^{-0.06021} \cdot (0,74 + 0,085 \cdot \ln D)$$

En donde  $V_f$  es la velocidad de filtrado o proporción de gas-tela,  $A = 9,0 >>>$  es el factor de material,  $B = 0,9 >>>$  es el factor de aplicación,  $T$  es la temperatura de operación, (entre  $50^\circ$  y  $275^\circ \text{ F}$ ),  $C$  es la carga de polvo a la entrada (entre  $0,05$  y  $100 \text{ gr/ft}^3$ ),  $D$  es el diámetro de partícula (entre  $3$  y  $100 \text{ PM}$ ).

### Selección del ventilador centrífugo

Pipe Flowexpert					
Node Id	Node Type	Node	Elevation	Demand Out	Total Flow Out
			m	m <sup>3</sup> /hour	m <sup>3</sup> /hour
1	Tank	N1	3.500		10.247
2	Join Point	N2	5.000	16.770	20.493
3	Tank	N3	3.500		10.247
4	Tank	N4	3.500		10.247
5	Join Point	N5	5.000	16.770	20.493
6	Tank	N6	3.500		10.247
7	Tank	N7	3.500		11.494
8	Join Point	N8	5.000	16.770	22.987
9	Tank	N9	3.500		11.494
10	Tank	N10	3.500		13.719

**Tabla 4.** Listado de nodos en toda la red

Para la generación del caudal que ingresa al filtro y por ende para la filtración, se selecciona el sistema de succión o de presión negativa que tiene un ventilador, debiendo cumplir las siguientes características:

Ventilador de succión

Tipo centrífugo

Aletas curvadas hacia atrás (de alta eficiencia;  $q = 0,7$ )

Opera en zona de aire limpio (no sufre abrasión)

Caída de presión total

Caudal =  $16,7773 \text{ m}^3/\text{s}$

La potencia (ecuación 3.13) de consumo adecuada que necesita el ventilador depende de la resistencia que debe vencer o caída de presión y del caudal que debe generar.

$$\text{Ecuación 3.13: } POT = \frac{Q \cdot \Delta P}{\eta}$$

## Resultados y discusión

Sin embargo, como método de verificación, se ha ingresado los datos correspondientes en el software Pipe Flow Expert. La principal dificultad que se presenta al momento de modelar el sistema de tuberías es que el software no brinda la posibilidad de definir que se está extrayendo un fluido.

Para ello se ha dibujado toda la red de tuberías planteada, en donde se ha definido a cada ingreso de aire (cada campana) como un tanque abierto y también distinguiendo las demandas de caudales en los nodos finales.

### *Análisis económico y rentabilidad del sistema propuesto*

Se obtuvo el número de días correspondientes para verificar el número de días no laborados y que la empresa está pagando a cada empleado durante un año, los mismos que se los puede apreciar en la siguiente tabla:

Rendimiento	Trabajan	Días no laborados	Nº de personas	Días de descanso
medio	1-4 años	1-2 días	5	10
alto	menos 6 meses	1-2 días	1	4
medio	1-4 años	1-2 días	2	4
alto	1-4 años	1-2 días	1	2

**Tabla 5.** Días no laborados por descanso médico a causa del polvo en un año (aprox.)

Considerando que cada trabajador gana por día 9,45 USD aproximadamente (8 horas diarias sin contabilizar las horas extras que sí las hacen), los 100 días representan 945 USD al año que la fábrica tiene que pagar a los empleados sin que estos trabajen puesto que están con el respectivo permiso por descanso médico.

Dado que en esos días de descansos médicos la fábrica no puede dejar de producir, es que se tiene que pagar horas extras con el 100% de recargo a otros trabajadores de los demás turnos. Es así que la nueva cifra anual que la empresa gasta por el efecto que causa el polvo en los empleados se incrementa en otros a 945 USD.

Otro de los efectos del polvo que provoca pérdidas económicas a la empresa, es el daño en las tarjetas electrónicas utilizadas para el comando y funcionamiento de los telares. El dato referencial es que cada mes al menos un telar tiene que hacer una parada de aproximadamente 4 horas (estimado 3 a 5 horas) para su mantenimiento correctivo. Traduciendo esto a un año se tiene que al menos 12 telares no produjeron durante 48 horas.

Si se maneja una cifra promedio de 12 m de tela producidas en cada telar en 1 hora, y teniendo presente que cada metro de tela tiene un costo promedio de 1,40 USD, se tiene que la pérdida monetaria por no producir es alrededor de 806,40 USD.

En cada uno de estos mantenimientos correctivos se procede a desoldar las placas, limpiarlas del polvo y cualquier otro agente impregnado y a hacer las debidas reparaciones posibles para, posteriormente, hacer las pruebas de rigor antes de volver a instalarlas. Suponiendo que en materiales y otros rubros se gasta 35 USD por cada mantenimiento correctivo, se tiene que el gasto en un año es de 420 USD.

Sin embargo, la avería más grave que puede suscitarse y que en algunas ocasiones sí ha ocurrido, es que la tarjeta definitivamente no funcione y se requiera de una nueva. El costo de cada una bordea los 2.000 USD dependiendo del telar. Como estadística se tiene que al menos en 3 años se han cambiado 2 tarjetas electrónicas.

nicas. De donde se deduce que por año se gasta en remplazos de tarjetas alrededor de 1.334 USD.

Finalmente, durante una jornada de trabajo de 24 horas, de los 60 telares en estudio, se cambia la urdimbre (rollo) a al menos 3 telares, tomando un tiempo de 2 horas por cada urdiembre.

En esos instantes, de los 120 minutos disponibles, 20 son dedicados a la limpieza externa e interna de partes y piezas críticas de la máquina (orificio salida proyectil, freno proyectil, trama, elementos mecánicos y rodadura, entre otros), donde se llega a embotar el polvo y es posible que después se generen daños.

El tiempo que toma esta limpieza por día es de 1 hora y anualmente resultarían 360 horas, tiempo en que la planta nuevamente no está produciendo. Con ello las pérdidas ascienden a un total de 6.048 USD.

## Conclusiones

Se pueden establecer muchas ideas claves que beneficiarían la toma de decisiones de los administrativos del Grupo Empresarial Gerardo Ortiz ante la problemática del polvo en la planta de Telartec. Se puede decir que en alrededor de 3,6 años se recuperaría la inversión realizada en el sistema de extracción de polvo.

Para tener una cifra redondeada y considerando que pueden haber otras variables que no se han considerado, se asume que en 4 años es posible recuperar la inversión, y dado que este tipo de maquinaria o sistemas tienen una depreciación de hasta 10 años, resulta que la empresa puede gozar del activo al menos unos 6 años. Sin embargo, quedan otros indicadores un tanto subjetivos que resulta imposible predecir, pero se estima que los empleados se sentirán bien al trabajar en un mejor ambiente laboral, en donde es posible que su rendimiento aumente notablemente, desde su propia percepción y desde la de los directivos.

## Bibliografía

BRAVO ÁLVAREZ, Humberto

1987 *La contaminación del aire en México*. México: Universo Veintiuno.

ROMERO, Luna

2009 *Plantas industriales, métodos de ingeniería industrial*. Venezuela: s.e.

SMITH, William

s.f. *Fundamentos de la ciencia de los materiales*. México: McGraw-Hill.

SOLER & PALAU

2009 *Manual práctico de ventilación*. España: s.e.

WARK Kenneth y Cecil Warner

1995 *Contaminación del aire*. México: Limusa.