

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

" Diseño de un sistema de desempolvado para una planta que elabora
cereales extruidos"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Clara Rosa Castillo Aguilar

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mis padres por su apoyo y amor incondicional.

A mis hermanos por siempre estar a mi lado.

A mis profesores por su gran contribución en mi desarrollo.

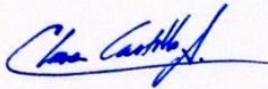
DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

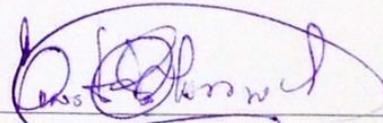
Clara Castillo A.

Ernesto Martínez L., M. Sc.

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Clara Castillo A.



Ernesto Martínez L., M. Sc

RESUMEN

Para la elaboración de productos extruidos a base de granos la materia prima debe pasar por diferentes procesos como mezcla, extrusión, laminado, tostado, rociado y secado. La materia prima base para la fabricación de estos cereales es harina de maíz, trigo o arroz; las cuales debido a su fina granulometría escapan fácilmente al ambiente de trabajo en varias etapas del proceso, especialmente al momento de colocarla en la tolva de alimentación. Esto ocasiona un grave problema ya que este polvo contribuye al rápido deterioro de los equipos y a la contaminación del ambiente de trabajo.

El objetivo del presente proyecto de graduación es realizar el diseño de un sistema de extracción de polvos generados durante el proceso de fabricación de cereales extruidos en una fábrica local. Este estudio incluirá el diseño y análisis de factibilidad del proyecto.

Para realizar el respectivo análisis y diseño, se realizaron estudios ambientales a fin de verificar que la cantidad de polvo en el ambiente no excede los límites definidos por la ACGIH. Para esto se realizaron inspecciones a la planta. Durante el proceso de selección y diseño del sistema se tomaron en cuenta requerimientos, normas de seguridad y de diseño de ingeniería. Entre los parámetros de diseño necesarios para el sistema de extracción tenemos el tamaño de las partículas en suspensión, la velocidad de captura y de transporte de partículas en el interior del sistema.

Como resultado de esta serie evaluaciones, análisis y cálculos de diseño se obtuvo que el método de filtración más indicado para este proceso es mediante un filtro de tela que puede ser colocado al interior de planta. El diseño del sistema se realizó en base a materiales que nos permitan la recuperación de la materia prima.

Palabras Clave: sistema de desempolvado, calidad del aire, cereales extruidos

ABSTRACT

Breakfast cereals are industrial products made of different types of grains, especially wheat, corn and rice, which are brought under many different processes. They are brought to consumers into different forms like flakes, balls, grains, etc. Frequently, they are enriched with different food supplements that increase their nutritional value.

For the elaboration of extruded products made of grains the raw material has to go through many different processes like mixing, extrusion, rolled, roasted, spraying and drying. The main raw materials for these products are wheat, corn or rice flour, which are easily risen to the air due to their grain size in the different stages of the process, especially when being fed in the hopper. This causes a big contamination issue on the working environment.

In this graduation project we intend to design a dust collection system for the airborne dust generated during the production of extruded breakfast cereals in a local factory. This will include the design and feasibility studies of the project.

For the respective analysis and design, environmental studies will be performed to see if it doesn't exceed the limits. This will be through visits and inspections to the plant. During the process of design and selection norms and specifications will be followed. Particle's size and capture and transport velocity are some of the necessary design parameters for the collection system.

As a result of this series of evaluations, analysis and design calculations it was found that the most appropriate method for this process is filtration through a baghouse which can be placed into ground. The system design was based on materials that enable us to recover the raw material.

Keywords: *dust collection system, air quality, extruded cereals*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición del problema	2
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivo Específico	4
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Normas aplicables	6
CAPÍTULO 2.....	8
2. Metodología del Diseño	8
2.1 Diseño de forma	8
2.2 Selección y diseño de campana extractora	9
2.3 Diseño de ducto	10
2.4 Selección y diseño de separadores de partículas	11
CAPÍTULO 3.....	21
3. RESULTADOS.....	21
3.1 Características del sistema	21
3.2 Análisis de costos.....	24

3.2.1	Costos de fabricación	24
3.2.2	Costo operativo del sistema.....	24
3.2.3	Impacto económico.....	25
CAPITULO 4.....		27
4.	DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....	27
4.1	CONCLUSIONES.....	27
4.2	RECOMENDACIONES	27
BIBLIOGRAFÍA.....		29
APÉNDICES.....		30
APÉNDICE A.....		31
TIPOS DE CAMPANA DE EXTRACCIÓN.....		31
(ACGIH, 1992).....		31
APÉNDICE B.....		32
VALORES RECOMENDADOS DE VELOCIDAD DE CAPTURA PARA DIFERENTES CONDICIONES		32
APÉNDICE C.....		33
APÉNDICE D.....		34
APÉNDICE E.....		35
APÉNDICE F.....		37
APÉNDICE G		38
APÉNDICE H.....		39
APÉNDICE I.....		40

ABREVIATURAS

ACGIH	Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales
OMS	Organización Mundial de la Salud
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
PM2,5	Material particulado menor a 2,5 micrómetros.
PM10	Material particulado menor a 10 micrómetros.
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente

SIMBOLOGÍA

m.....	Metro
Kg.....	Kilogramo
µm	Micrómetro
A.....	Área
D.....	Diámetro
L.....	Longitud
P.....	Presión
Q.....	Caudal
V.....	Velocidad
CFM.....	Pies cúbico por minuto
RPM.....	Revoluciones por minuto
HP.....	Horse Power (Caballos de fuerza)
mmH ₂ O.....	Milímetros de columna de agua

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Etapas de proceso de producción de hojuelas de cereal extruido	2
Figura 2.1. Diseño de forma de sistema de desempolvado.....	8
Figura 2.2. Arreglo 4x3 para mangas del filtro.....	16
Figura 2.3. Diagrama P&Id del sistema de desempolvado.....	17
Figura 3.1. Arreglo final del sistema de desempolvado.....	22
Figura 3.2. Curvas características del ventilador seleccionado.....	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Matriz de Decisión “Tipo de Campana Extractora”	9
Tabla 2.2. Principales Características de Separadores de Inercia.	11
Tabla 2.3. Matriz de Decisión para Separadores de Partículas.....	12
Tabla 2.4. Datos para relación aire-tela por método del fabricante.	13
Tabla 2.5. Parámetros para selección de tela de filtros.....	15
Tabla 3.1. Parámetros para fabricación de filtros.....	21
Tabla 3.2. Características principales de sistema de ductos.....	21
Tabla 3.3. Características principales del ventilador centrifugo.....	23
Tabla 3.4. Resumen de costos del sistema de desempolvado.....	24

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En la industria alimenticia, en especial en fábricas donde trabajan con polvos como materia prima para sus productos, se liberan grandes cantidades de polvo durante el proceso de producción. Esto puede ocasionar problemas en los equipos y tener repercusiones en la salud de los trabajadores de la planta.

El objetivo de este proyecto es realizar el diseño de un sistema de extracción de polvos generados durante el proceso de fabricación de cereales en una fábrica local.

1.1 Antecedentes

Los cereales para desayuno son productos elaborados a base de diversos granos como trigo, maíz y arroz los cuales al ser sometidos a procesos son transformados en formas como hojuelas o esferas en las que conservan su valor nutricional y son más digeribles que en su estado original.

El proceso empieza con la recepción de la materia prima, la harina, la cual llega en sacos y es almacenada en la bodega. Posteriormente se vierte el contenido en la tolva de alimentación junto con los colorantes y saborizantes. De aquí pasa por diversos procesos: mezclado, extrusión, secado, laminado, tostado y recubrimiento; en los cuales se les da la forma y textura deseada.

En la Figura 1.1 se presenta un esquema del proceso de producción de hojuelas de cereal extruido.

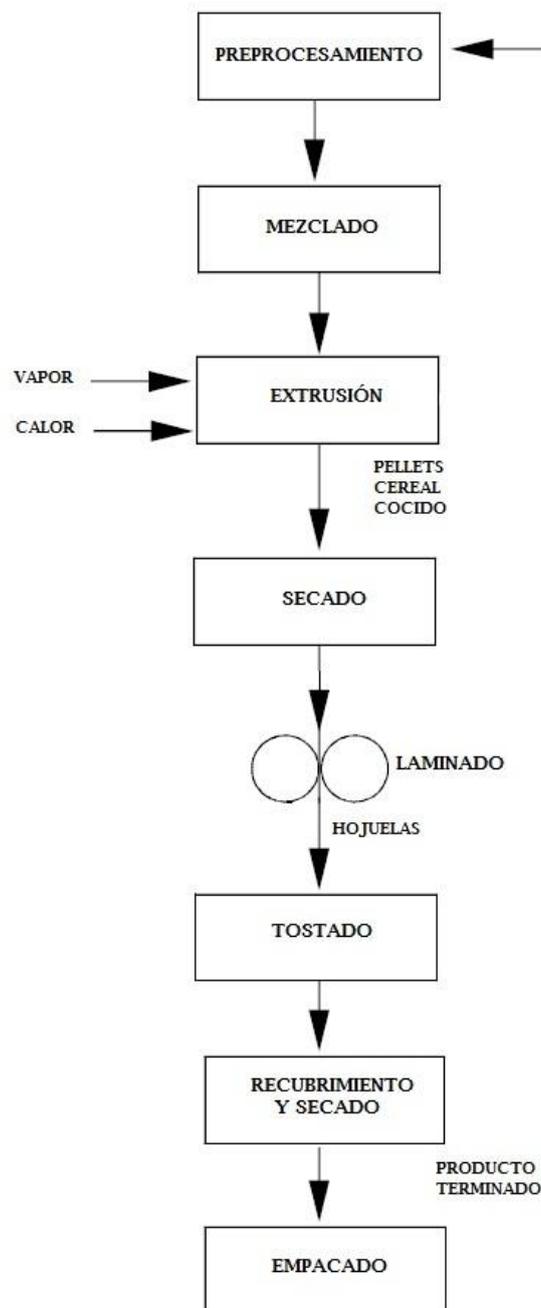


Figura 1.1. Etapas de proceso de producción de hojuelas de cereal extruido

Elaboración propia.

1.2 Definición del problema

En gran parte de los procesos de transformación de materia prima, como el de elaboración de cereales, se puede llegar a generar cantidades elevadas de polvo, especialmente si procesos como el de alimentación de la materia prima continúan siendo manuales. Este polvo a pesar de no ser tóxico no puede ser considerado como inofensivo; cualquier exposición a polvo supone un riesgo.

La exposición repetitiva a materiales pulverulentos provoca irritación de las vías respiratorias y puede dar lugar a enfermedades ocupacionales como la bronquitis crónica. Ciertos tipos de polvo provocan enfermedades específicas (amianto, sílice, plomo, entre otros.). Hay tipos de polvo que, además, pueden ser explosivos en ambientes confinados (carbón, magnesio, aluminio, entre otros).

El material particulado, puede ser este un sólido o líquido, en general de tamaño mayor a 10 μm se conoce como partículas sedimentables. Éstas, debido a su peso, tienden a precipitarse con facilidad, razón por lo cual pueden permanecer en suspensión temporal en el aire ambiente.

Cuando este material particulado tiene un tamaño menor a las 10 μm se vuelve más peligroso ya que su tamaño las hace totalmente respirables. El material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 μm se denomina PM10. El material particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 μm se denomina PM2,5. Las partículas PM10 pueden llegar a acceder a la parte superior del tracto respiratorio. En el caso de las de 2.5 μm , estas pueden penetrar al aparato respiratorio y se depositan en los alveolos pulmonares, e incluso pueden llegar al torrente sanguíneo. Esto puede ocasionar enfermedades respiratorias, como la bronquitis, además de enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer al pulmón.

Las directrices de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud, OMS, recomiendan para exteriores un límite de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual para PM2,5 y de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual para PM10. En Ecuador, el Ministerio del Ambiente ha establecido que la concentración para PM10 no debe exceder el valor límite de 50 g/m^3 en un año. Para las PM2,5, no se deberá exceder el valor límite de 15 g/m^3 . (Ministerio del Ambiente, 2011). Para interiores, según la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACIGH, 1992) estos valores llegan a 3 para las PM2,5 y a 10 para las PM10.

En el proceso de producción de cereales extruidos, es en el proceso de descarga de la materia prima sobre la tolva, en donde se generan las mayores emisiones de polvo; ya que el proceso es manual. Durante el proceso de selección y diseño del sistema se tomarán en cuenta requerimientos, normas de seguridad y de diseño de ingeniería mencionadas posteriormente en este capítulo. Entre los parámetros de diseño necesarios para el sistema de extracción se encuentran el tamaño de las partículas en suspensión, la distancia al foco de contaminación, la velocidad de captura y de transporte de las partículas en el interior del sistema.

Entre las restricciones debemos tener en cuenta que no se deben realizar movimientos de los equipos ya instalados debido a que eso implicaría modificar los sistemas de tuberías ya instalados.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar de un sistema de extracción de polvos generados durante el proceso de fabricación de cereales extruidos en una fábrica local.

1.3.2 Objetivo Específico

- Diseñar un sistema de extracción de polvos que reduzca los niveles de contaminación en la planta y que a su vez permita recuperar la materia prima que se pierde durante el proceso de alimentación a la tolva.
- Evaluar factibilidad técnica y económica del proyecto.

1.4 Marco teórico

Una de las alternativas más comunes y efectivas para controlar que las concentraciones de material particulado se mantengan bajo los parámetros establecidos es mediante captadores o separadores de partículas.

Estos nos permiten depurar el aire que se emite al ambiente ya que se capturan las partículas emitidas por la fuente antes de que se esparzan en la atmósfera.

Además, nos ayudan a mejorar el rendimiento la planta ya que permiten recuperar parte de la materia prima perdida en el proceso y reincorporarla.

Existen diversos tipos de sistemas de extracción de partículas. Esto dependerá siempre del tipo de procesos que realice la fábrica y del tamaño y tipo de partículas que se encuentren suspendidas en el aire. El objetivo principal de estos sistemas es tener ambientes de trabajo propicios para la realización de las diferentes operaciones o procesos de producción.

Para esto, el lugar de trabajo debe tener una correcta ventilación o reposición de aire ya que esto permitirá controlar la temperatura, toxicidad o potencial explosividad en dicho ambiente.

Existen dos tipos de ventilación que son la ventilación general o diluidora y la ventilación localizada. La ventilación general tiene como objetivo renovar el aire de un ambiente en su totalidad, es un sistema de inyección de aire. En cambio, la ventilación localizada tiene como propósito obtener condiciones adecuadas en un sector específico, es un sistema de extracción.

Ventilación Natural

El aire de reposición se va a difundir por todo el espacio interior antes de llegar al punto de salida, por esto existen varios factores limitantes en este tipo de ventilación (ACGIH, 1992):

- Está diseñado para bajas concentraciones de contaminante.
- Se aplica cuando existen varias fuentes de contaminación dispersas o son móviles.
- En caso de existir un foco contaminante la corriente de aire se va a encargar de esparcir el contaminante por todo el lugar antes de salir.
- La generación de los contaminantes debe ser relativamente uniforme.
- Utiliza grandes caudales de aire.
- Si los trabajadores se encuentran muy cerca del foco puede no protegerlos de manera adecuada.

- Siempre van a quedar restos del contaminante.

Este tipo de ventilación es raramente utilizada para polvos y humos ya que en procesos industriales suelen producirse cantidades muy elevadas de estos y se requeriría de un caudal extremadamente elevado de aire para estos casos.

Ventilación Mecánica

Con la extracción localizada se capta el aire contaminado en el lugar que éste se origina evitando que el contaminante se difunda por todo el ambiente de trabajo. Este método tiene un requerimiento mucho menor de aire y hace que los niveles de contaminante sean prácticamente cero, lo cual lo convierte en el método más apropiado para este proyecto.

Este sistema de desempolvado debe estar formado principalmente por:

- 1.- Elementos de Captación (Campana Extractora): Extrae el contaminante en el foco.
- 2.- Conductos de Canalización (Ducto): Transporta el aire contaminado al punto adecuado.
- 3.- Separador de Partículas: Separa el contaminante del aire y lo atrapa para poder enviar el aire lo más limpio posible.
- 4.- Extractor o Ventilador: Se encarga de hacer fluir el aire a través del sistema.

1.4.1 Normas aplicables

Las normas que se aplican a este proyecto son reguladas por las siguientes organizaciones:

- Ministerio de Ambiente: Organismo del Estado ecuatoriano encargado de regular las políticas ambientales y coordinar proyectos sostenibles y sustentables cuidando los recursos naturales. (Ministerio del Ambiente, 2011)
- INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización): Organismo encargado de la normalización reglamentación técnica para garantizar la seguridad, protección de la vida y salud humana, animal y vegetal en el país. (INEN, 1987)

- EPA (Environmental Protection Agency): Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de Estados Unidos encargada de generar efectivas las leyes medioambientales y proporcionar programas de prevención. (EPA, 2002)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

Una vez realizada la revisión de conceptos, se procede a realizar el correspondiente diseño de forma del sistema. Luego a dimensionar o seleccionar cada uno de sus componentes, incluyendo los accesorios necesarios. Para esto, se debe tomar en cuenta también las pérdidas en el sistema y el comportamiento de las partículas de polvo.

2.1 Diseño de forma

El sistema de desempolvado para la planta tendrá los siguientes elementos básicos para un sistema de extracción: la campana extractora, el ducto, el separador de partículas, el filtro de mangas y el ventilador. Estos componentes deberán estar colocados de tal forma que no interfieran con el proceso de producción.

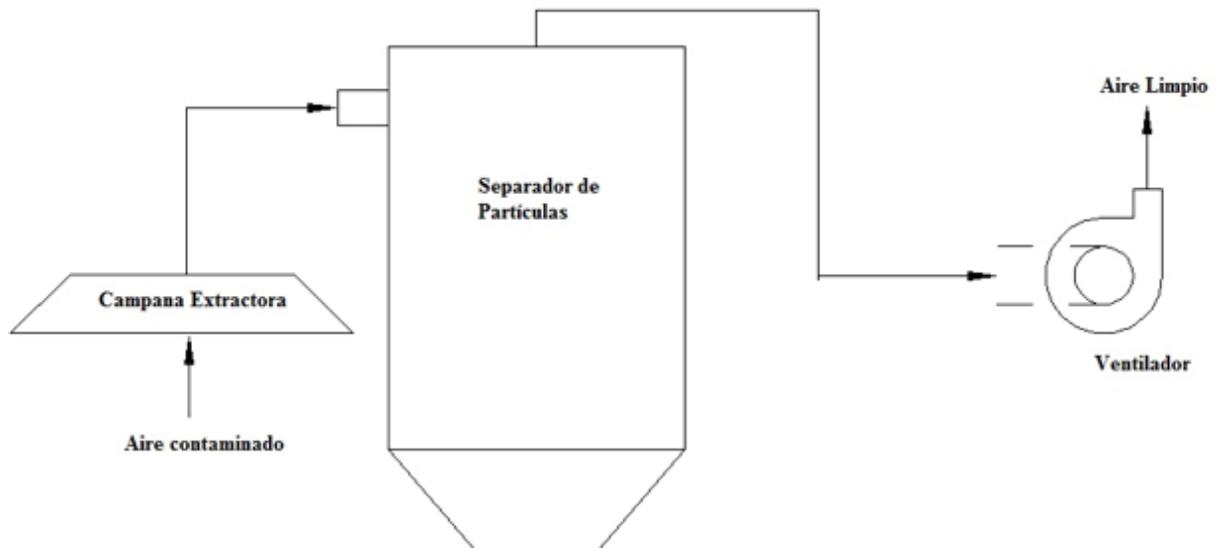


Figura 2.1. Diseño de forma de sistema de desempolvado.

Elaboración propia.

Debido a la forma en que se alimenta la materia prima en la tolva este es el punto que genera una alta contaminación de la planta. Por esto, se colocará una campana extractora en la tolva de alimentación.

2.2 Selección y diseño de campana extractora

Para tener una mejor captación del contaminante se debe encerrar, en la forma más completa posible, el proceso de descarga de la materia prima en la tolva. Para esto deben colocarse pantallas que la cubran adaptándose al proceso, es decir permitiendo verter el contenido de los sacos pero evitando que el polvo se esparza cerca de la zona respiratoria del operario. En el Apéndice A podemos observar los diferentes tipos de campanas existentes. En la tabla 2.1 se muestra la matriz de selección donde se pondera y según eso se selecciona la que más se adapta a nuestras necesidades.

Tabla 2.1. Matriz de Decisión “Tipo de Campana Extractora”.

Tipo de Campana	%	EXTERIOR	ELEVADA	PARA PROCESOS CONFINADOS	CABINA
Caudal requerido	30	20	15	30	30
Extracción en zona respiratoria de operario	40	30	5	40	40
Encierra operación	30	0	0	30	30
Total	100	50	20	100	100

Elaboración propia.

Según nuestra matriz, la campana más adecuada para nuestro proceso es la cabina, ya que con este tipo de campanas evitaremos que se contamine la zona respiratoria del operario que se encuentra vertiendo material en la tolva.

El caudal de aire que ingresará al sistema es uno de los principales parámetros al momento de diseñar una campana. Para nuestro caso, según el Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales (ACGIH, 1992) este es igual al producto entre el área de sección transversal y la velocidad de captura de las partículas:

$$Q = V_c * A$$

Ec. 2.1

Donde:

Q: Caudal en la campana (m³/s).

A: Área transversal de campana (m²).

V_c: Velocidad de captura de la partícula (m/s)

La velocidad de captura de las partículas es la velocidad mínima que se necesita en la boca de la campana para lograr que el aire contaminado ingrese al sistema. Esta depende del tipo de proceso generador de contaminación y de ciertas características de la partícula a capturar. El área transversal de campana depende, en este caso, de las dimensiones de los sacos utilizados para el abastecimiento de la materia prima y de las dimensiones de la tolva de alimentación. Además, para economizar, se utilizará como campana una estructura previamente instalada en la planta ya que también tiene una forma que nos es útil para encerrar el contaminante. En el Apéndice B podemos observar los posibles valores de velocidad de captura para las partículas dependiendo de las condiciones en que son liberadas las partículas.

$$Q = 0,7 * (0,95 * 0,87)$$

$$Q = 0,58 \frac{m^3}{s}$$

Como un elemento que ayude a controlar el retorno del polvo debido a turbulencias se colocará una válvula doble pendular en el ducto que conduce de la tolva al tanque mezclador.

2.3 Diseño de ducto

Para diseñar el ducto por el cual serán transportadas las partículas necesitamos calcular primero el diámetro. Esto se realiza relacionando el caudal que será extraído por la campana, es decir 0.58m³/s, con el área de la tubería y la velocidad a la cual viajarán las partículas por el ducto, cuyo valor recomendado para extracción en tolvas es de 18 m/s. (ACGIH, 1992)

$$Q = V_c * A$$

$$\frac{\rho * D^2}{4} = \frac{Q}{V_c}$$

$$D = \sqrt{\frac{Q * 4}{V_c * \rho}}$$

$$D = 0,202m$$

Para este tramo se utilizará una tubería de 200 mm cédula 10S que es el diámetro comercial más cercano, el diámetro interior es de 211.56 mm. Ya que la diferencia de diámetros es mínima, se considera que la velocidad de transporte es la misma. Según nos indica el código para manipulación de alimentos (INEN, 1987) esta tubería debe ser de un material no tóxico, de superficie lisa y que resista la abrasión por lo que se selecciona el acero AISI 304L.

2.4 Selección y diseño de separadores de partículas

Para seleccionar adecuadamente el separador de partículas se debe revisar las características del material con el que se trabaja ya que según esto se comparan los rangos de operación de los equipos, tamaño y costo. En este caso, se recolectarán tres tipos diferentes de partículas, las de mayor tamaño son las de 250 μm . Se omiten los separadores húmedos ya que se prevé recuperar la materia prima e insertarla nuevamente en el proceso.

Tabla 2.2. Principales Características de Separadores de Inercia.

Equipo	Rango de operación μm	Tamaño	Costo Inicial	Costo Operación	Facilidad de mantenimiento
Cámara de Choque	>50	Grande	Bajo	Moderado	Si
Cámara de Sedimentación	>50	Grande	Bajo	Moderado	Si
Ciclón	>10	Ajustable	Bajo	Bajo	Si
Filtros de Mangas	0.05 – 100	Moderado	Moderado	Moderado	Si
Precipitador Electrostático	0.01 – 90	Grande	Alto	Bajo	No

(ACGIH, 1992) (EPA, 2002) (Goodfellow & Tähti, 2001)

El rango de operación es una de las características más importante a tomar en cuenta en el modelo de seleccionar el separador de partículas ya que si no seleccionamos el adecuado estas podrían regresar al ambiente. El tamaño es otra característica de peso ya que de ser muy grande el equipo este no podrá instalarse en el espacio requerido.

Tabla 2.3. Matriz de Decisión para Separadores de Partículas.

	%	Cámara de Choque	Cámara de Sedimentación	Ciclón	Filtros de Mangas	Precipitador Electrostático
Rango de operación (5-200 μm)	30	15	15	20	30	30
Tamaño	20	5	5	20	18	5
Costo inicial	15	12	12	15	12	5
Costo de operación	20	14	14	20	17	20
Facilidad de Mantenimiento	15	15	15	15	15	1
TOTAL		61	61	90	92	61

Elaboración propia.

Una vez comparados los equipos, se llega a la conclusión de que lo más adecuado para este caso es utilizar un filtro de mangas debido a que cumple con todos los requisitos.

Diseño de filtro de mangas

Para la extracción de las partículas se requiere un tipo de filtro de limpieza continua y que ocupe un espacio relativamente pequeño por lo que el que más se adapta a estos requerimientos es el filtro de limpieza tipo pulse jet

Para poder realizar una correcta selección se deben determinar los siguientes parámetros:

- Caudal requerido, el caudal total del sistema
- Relación aire-tela
- Área de filtrado

La relación aire-tela o velocidad de filtrado es el parámetro más importante en el diseño de un filtro. Esta es la velocidad que produce que se equilibren la caída de presión a través del colector y su tamaño. Se determina de acuerdo al tipo de material a filtrar en este caso es harina y se establece, según tabla en Apéndice D, que para los sistemas pulse jet es:

$$A/C = 12 \text{ ft}^3/\text{min}/\text{ft}^2 = 0,0609 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2.$$

Esta relación se puede constatar mediante la ecuación del fabricante (EPA, 2002).

$$A/C = 2,878 * A * B * T^{-0.2335} * L^{-0.06021} * (0,7471 + 0,0853 * \ln D) \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

A/C = relación aire-tela (ft/min)

A = factor del material

B = factor de aplicación

T = temperatura, (°F, entre 50 y 275)

L = carga de polvo a la entrada (gr/ft³, entre 0,05 y 100)

D = diámetro de la partícula (μm, entre 3 y 100)

En este caso, la temperatura de trabajo es la temperatura ambiente, el valor de la carga a la entrada será un valor asumido, el material es harina y la aplicación es 'ventilación de emisiones molestas' por lo que según las tablas del Apéndice E tenemos los valores mostrados en la tabla 2.4:

Tabla 2.4. Datos para relación aire-tela por método del fabricante.

Factor del material, A	15
Factor de Aplicación, B	1
Temperatura, T (°F)	80
Carga de polvo, L (gr/ft³)	1
Diámetro de partícula, D (μm)	1,2

Elaboración propia.

Para el diámetro de partícula D, la EPA nos indica que ya que este es mayor a $100 \mu\text{m}$ el valor a utilizar es de 1,2. (EPA, 2002)

Con estos datos obtenemos que la relación gas-tela o velocidad de filtrado es de $11,83 \text{ ft/min} = 0,0601 \text{ m/s}$, lo cual corrobora el valor obtenido de la tabla y nos indica también que el valor asumido de concentración es válido.

Una vez obtenida esta relación procedemos a calcular el área de filtrado.

$$Q=0,579 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ec. 2.3

$$A_{\text{filtrado}} = \frac{Q}{A/C}$$
$$A_{\text{filtrado}} = \frac{0,579}{0,061}$$
$$A_{\text{filtrado}} = 9,48 \text{ m}^2$$

De acuerdo a esto, podemos seleccionar la cantidad de mangas necesarias para nuestro filtro. Tomaremos mangas de $\varnothing=0,120\text{m}$ y $L=0,865\text{m}$ de catálogos de fabricantes. Con lo que obtenemos el área de una manga:

$$A_{\text{manga}} = \rho f L$$
$$A_{\text{manga}} = 0,309 \text{ m}^2$$

Ec. 2.4

Y a partir de esto, el número de mangas:

$$N_{\text{mangas}} = \frac{A_{\text{filtrado}}}{A_{\text{manga}}}$$
$$N_{\text{mangas}} = 11,38 = 12 \text{ mangas}$$

Ec. 2.5

Para escoger el medio filtrante, es decir el material del que estarán hechos los filtros, lo hacemos tomando en cuenta las características de la harina y el tipo de limpieza que se le dará. En la tabla 2.5 se muestran las características principales de la harina.

Tabla 2.5. Parámetros para selección de tela de filtros

Características de la harina	Ácido
	Poco Abrasiva
Tipo de limpieza	Pulse jet
Temperatura de operación	30°C

Elaboración propia.

En este caso, debido a la forma de limpieza a realizarse, el tipo de tela de las mangas debe ser fieltro y el material más adecuado es el polipropileno ya que cumple con todos los requerimientos además de no ser muy costosa. Estas mangas deberán ir colocadas dentro de sus respectivas canastillas para evitar que estas colapsen durante el proceso de limpieza o filtración. Las canastillas se sujetaran a una plancha metálica llamada placa espejo cuyas medidas se pueden observar en la figura 2.2.

Con estos datos se procede a contactar diferentes proveedores para encontrar uno que se ajuste a nuestras necesidades.

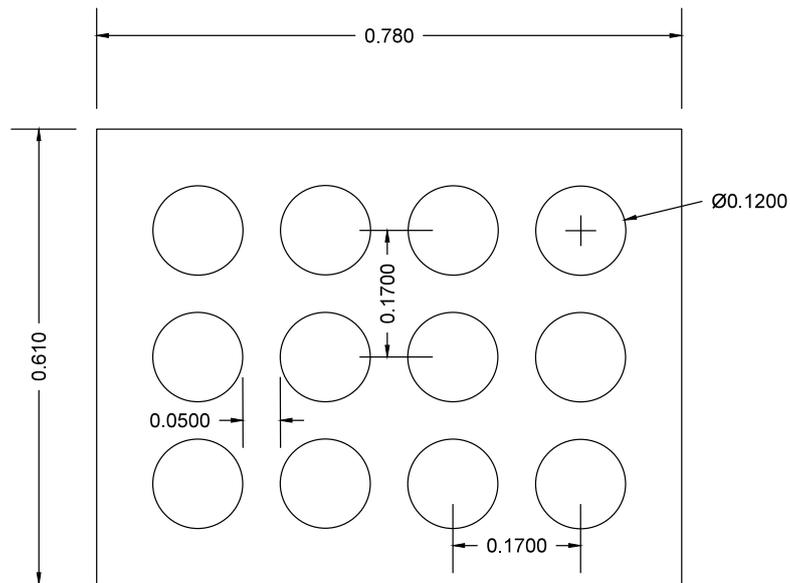


Figura 2.2. Arreglo 4x3 para mangas del filtro.

Elaboración propia.

Dimensionamiento del cuerpo colector

Las dimensiones del cuerpo colector se dan en función del arreglo de mangas descrito anteriormente. Este se diseña como un recipiente rectangular de paredes delgadas sometido a presiones internas. Se dejará una separación mínima entre mangas de 50mm y de 75mm entre mangas y paredes. Las dimensiones de la cámara son: 940mm de alto, 780mm de largo y 610mm de ancho.

Sistema de Limpieza.

El sistema de limpieza será el encargado de enviar el aire comprimido a través de tubos Venturi para expulsar el polvo de las mangas del filtro. Este sistema se encuentra compuesto por los siguientes equipos:

- Válvulas diafragma y solenoide: Son las encargadas de controlar el paso del aire a través de los conductos. Se activan mediante bobinas solenoides. En el interior de estas se encuentra un diafragma de hule que se encarga de mantener la misma presión en ambos lados de la válvula.

- Caja portapilotos: Se encarga de controlar las válvulas diafragma. Las bobinas son activadas por señales de equipos electrónicos, estas se conectan a las válvulas a través de tubos neumáticos.
- Controlador secuencial: Controla el ciclo de limpieza utilizando un manómetro de presión diferencial, que se activa al detectar una variación entre la presión de las cámaras.
- Suministro de aire comprimido: En este caso, se puede acoplar el sistema de limpieza al sistema de aire comprimido de la planta que trabaja con una presión de 0,55MPa (80 psi).

En la figura 2.3 se muestra el diagrama P&ID del sistema de desempolvado.

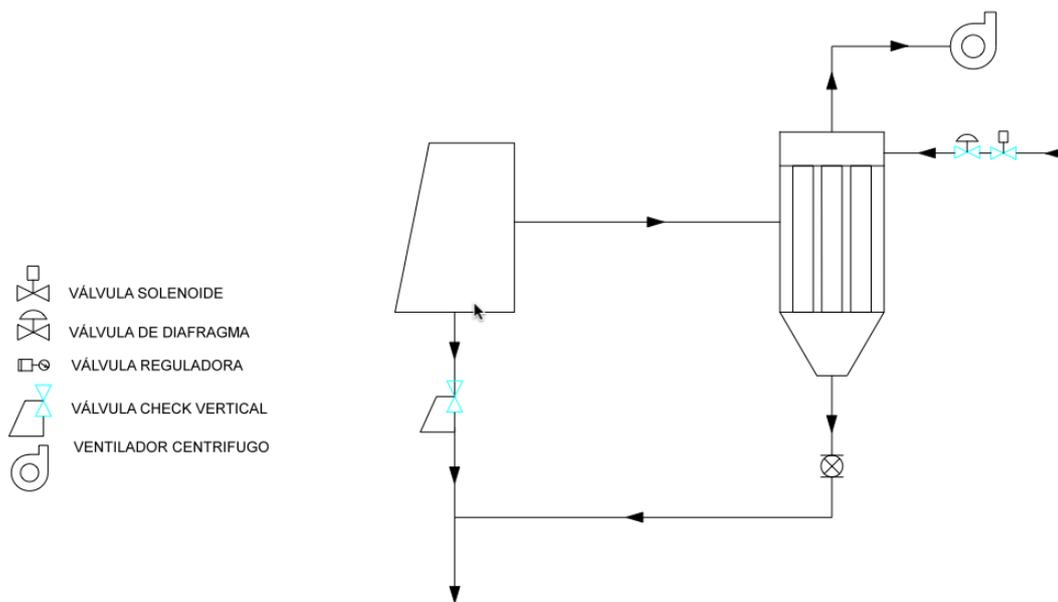


Figura 2.3. Diagrama P&ID del sistema de desempolvado.

Elaboración propia.

Diseño de la tolva

Para el diseño de este elemento debemos considerar el ángulo de reposo del material. El ángulo de la tolva debe ser mayor para que este no se adhiera a las paredes. En este caso, el ángulo de reposo de la harina es de 45° por lo que tomaremos un ángulo de 60° para el diseño de la tolva. En las paredes de la misma se colocarán platinas que servirán como deflectores para direccionar el flujo hacia las mangas.

Válvula de descarga

El tipo de válvula a utilizarse a la salida del filtro es del tipo rotativa. También se la conoce como válvula de doble puerta de aleta y controla la velocidad de flujo de material a través de un sistema. Al mismo tiempo, evita la fuga de aire mediante el aislamiento de las presiones del sistema.

2.5 Selección del ventilador

Para poder seleccionar el ventilador debemos tener en cuenta las pérdidas generadas en todos los componentes del sistema. Esto se realiza calculando las presiones estáticas y dinámicas a lo largo del sistema.

Presión Dinámica (PD)

Es la presión que acelera el aire desde cero a la velocidad de régimen. Se manifiesta sólo en la dirección del aire y viene relacionada con la dirección del mismo. Este valor es necesario para poder calcular las pérdidas en el sistema.

Para condiciones estándar y el sistema internacional de unidades:

$$PD = \frac{\rho V_{COND}^2}{4.033 \theta} \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$PD = \frac{\rho \cdot 18 \theta^2}{4.033 \theta}$$

$$PD = 19.92 \text{mm.H}_2\text{O}$$

Pérdidas en la campana

Se calcula en función de la presión dinámica, PD, y el factor de pérdidas, F, que depende de la conexión entre la campana y el ducto. En este caso, se trata de una cabina con conexión redondeada por lo que tenemos lo siguiente:

$$F = 0,1 \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$h_{ec} = f * PD$$

$$h_{ec} = 1,992 \text{mm.col.H}_2\text{O}$$

Pérdidas a lo largo del ducto

Estas se ocasionan al atravesar el fluido por un conducto cerrado y depende de diferentes factores como el tipo de material, longitud, fricción del fluido con las tuberías. Para esto, se utiliza la gráfica de pérdida de carga por rozamiento de aire para conductos circulares rectilíneos. Según esta tabla, Apéndice G, la caída de presión por unidad de longitud en el ducto de acero inoxidable de 211,56mm de diámetro y con una velocidad de transporte de 18 m/s es:

$$h_l = 20Pa = 2.039 \text{ mm.col.H}_2\text{O} / m$$

Por lo que para la longitud total de tuberías, el valor total es:

$$h_{L_t} = 16.92 \text{ mm.col.H}_2\text{O}$$

Pérdidas por accesorios

A lo largo del sistema de tuberías se encuentran diversos tipos de acoples.

En este sistema existen 2 codos de 90°.

$$h_{accs} = \sum (n * k * PD)$$

$$h_{accs} = 0.26 * PD$$

Ec. 2.8

$$h_{accs} = 5.18 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Pérdidas en el Filtro

La caída de presión en el filtro de tela se debe a la resistencia de la tela y la de la capa que forman las partículas atrapadas. Mientras más grande sea esta capa mayor será la pérdida. Esta puede ser expresada como

$$\Delta P = \Delta P_s + \Delta P_f + \Delta P_p \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde :

ΔP = Caída de presión total, mm H₂O.

ΔP_s = Caída de presión a través del compartimiento, mm H₂O.

ΔP_f = Caída de presión a través de la tela, mm H₂O.

ΔP_p = Caída de presión a través de la capa de partículas, mm H₂O

De los cuales solo se considera la caída de presión a través de la tela ya que la caída de presión a través del compartimiento es usualmente baja y la caída a través de la capa se la contempla en la caída de presión a través de la tela. Por lo que finalmente se obtiene que:

$$DP_f = k_1 V \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde

k_1 = Factor de resistencia del tejido, mm H₂O.

V = Velocidad de filtración

$$DP_f = 263.2 * 0.041$$

$$DP_f = 10.79 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La pérdida total en el sistema entonces es:

$$P_{total} = h_{ec} + h_{Lt} + h_{accs} + DP_f$$

$$P_{total} = 34,88 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Ec. 2.11

Con esta información se procede a seleccionar un ventilador centrífugo.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

Una vez realizados todos los cálculos y selección de componentes se procede con la revisión del análisis de costos y factibilidad de la implementación de los mismos. Para esto se debe realizar un resumen de los materiales y equipos necesarios para la construcción del sistema calculados previamente.

3.1 Características del sistema

A continuación, en las tablas 3.1 y 3.2, se detallan las características principales del sistema de extracción calculado.

Tabla 3.1. Parámetros para fabricación de filtros

CARACTERÍSTICAS DE FILTRO DE MANGAS	
Velocidad de filtración	0,061 m/s
Área neta de filtración	9,48 m ²
Tipo de Tela	Polipropileno
Dimensiones manga y canastilla	Ø= 120 mm
	L= 865mm
Número de mangas	12
Arreglo de mangas	4x3
Número de válvulas solenoides	3

Elaboración propia.

Tabla 3.2. Características principales de sistema de ductos.

DUCTOS	
Material	AISI 304L
Diámetro	211,56 mm
Cédula	10S
Longitud total	2,1 m

Elaboración propia.

En la Figura 3.1 se presenta un esquema del arreglo final del sistema de desempolvado.

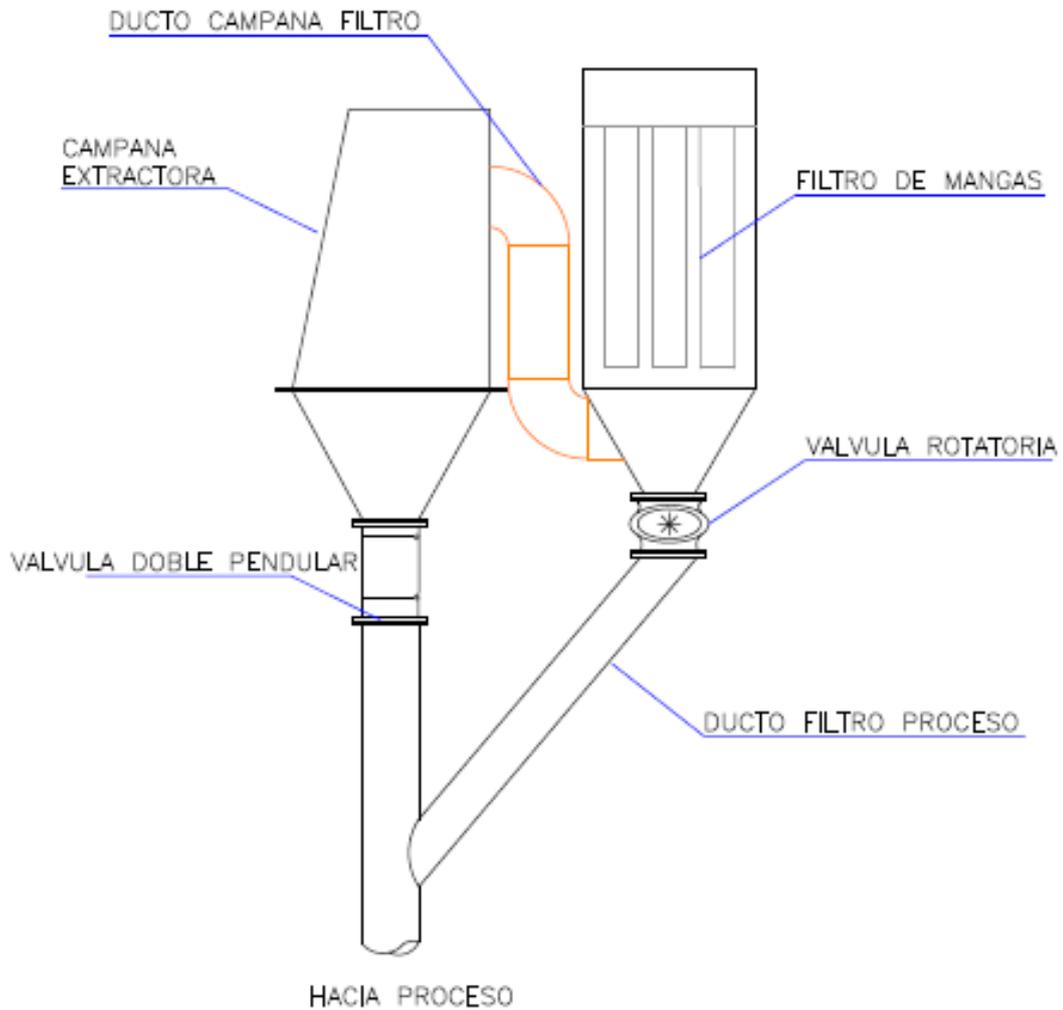


Figura 3.1. Arreglo final del sistema de desempolvado.

Elaboración propia.

Selección del ventilador

Una vez realizados todos los cálculos, se procede a revisar diferentes opciones con los siguientes datos:

$$Q= 1226,83 \text{ cfm}$$

$$\Delta P= 1.35 \text{ inH}_2\text{O}$$

$$Pot_{vent} = \frac{DP * Q}{6356}$$

Ec. 3.1

$$Pot_{vent} = 0,33HP$$

Con esto, de catálogo (Direct Industry, 2012), se selecciona un ventilador con las siguientes características:

Tabla 3.3. Características principales del ventilador centrífugo

CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR	
Caída de presión	1,5 inH2O
Potencia	0,5 HP
Velocidad	1774 rpm
Caudal	1240 cfm

Elaboración propia.

En la figura 3.2 se muestran las curvas características del ventilador centrífugo seleccionado.

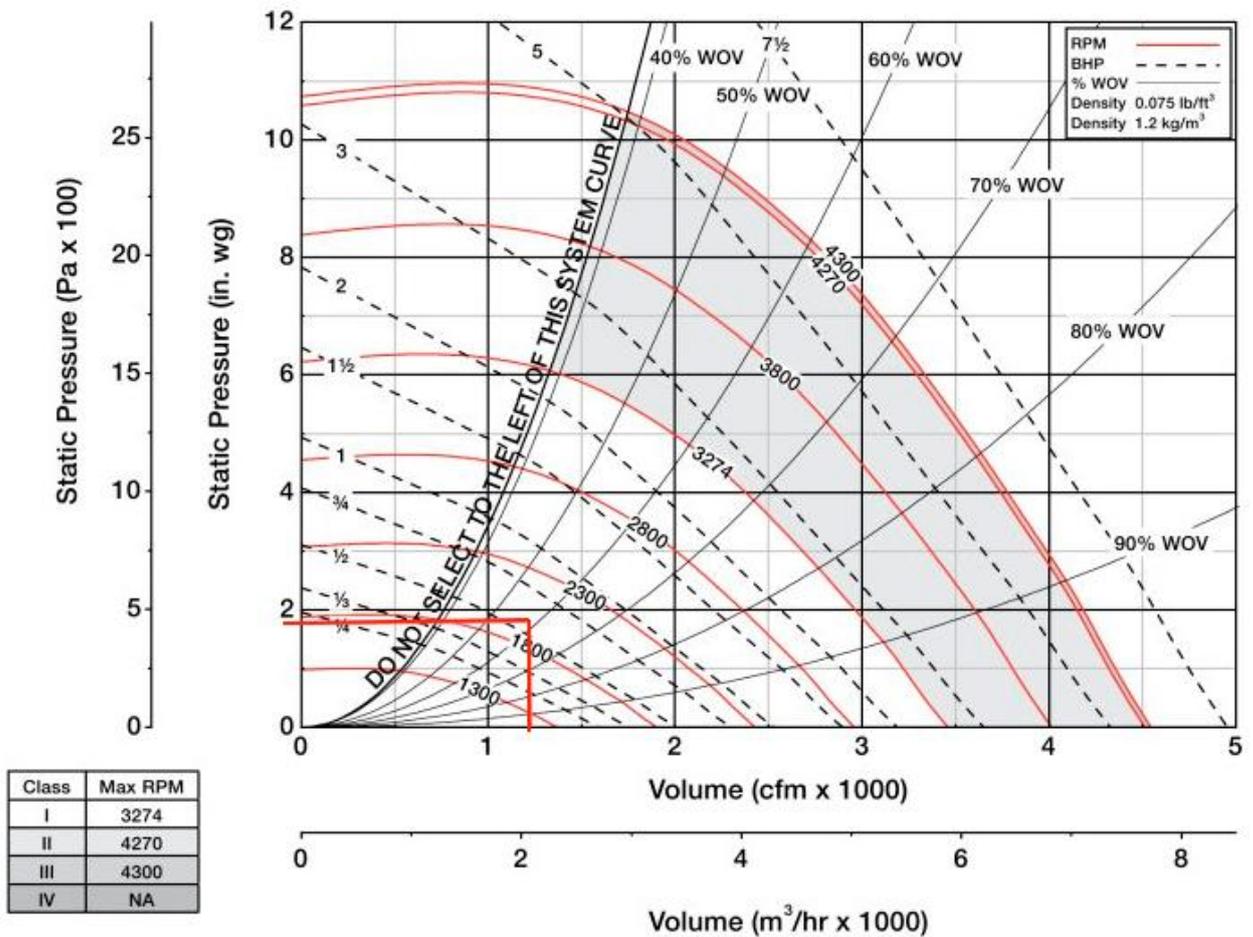


Figura 3.2. Curvas características del ventilador seleccionado.

(Direct Industry, 2012)

3.2 Análisis de costos

3.2.1 Costos de fabricación

Una vez diseñados y seleccionados los respectivos componentes del sistema se procede a calcular los costos de fabricación para lo cual se debe determinar las cantidades de material, consumibles, accesorios y equipos a utilizar.

Costos de elementos del sistema

Entre los costos del sistema se incluyen los materiales utilizados para la fabricación del filtro de mangas, tolva y ductos necesarios. Además se incluye el costo de fabricación y montaje del sistema.

Tabla 3.4. Resumen de costos del sistema de desempolvado

MATERIAL	CANTIDAD	Unidades	COSTO (\$)
CONJ. MANGA- CANASTILLA- VENTURI	12	u.	2720
VENTILADOR CENTRIFUGO	1	u.	890
SISTEMA DE LIMPIEZA	1	u.	1647
DUCTO ACERO INOX. AISI 304L	2,1	m	306,38
PLANCHAS Ac. INOX. 4x8ft2 2B 4MM	5,02	m2	552,56
CODO 90° 8" INOX 304	2	u.	286,72
BRIDAS 8" INOX 304, PERNOS	2	u.	122,73
VÁLVULA DOBLE PENDULAR	1	u.	875
VÁLVULA ROTATORIA ZRS-I-150/225	1	u.	528,45
COSTO DE FABRICACIÓN	5	días	1535
COSTO DE INSTALACIÓN	2	días	420
SERVICIOS DE INGENIERÍA	1	u.	2500
TOTAL EQUIPOS Y MATERIALES			12383,84

Elaboración propia.

3.2.2 Costo operativo del sistema.

En este rubro se considera el consumo del ventilador centrífugo y del sistema de limpieza del filtro de mangas.

$$C = C_{kWh} * t_{op} * Cons. \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$C = 0,16 * 2056 * 0,80$$

$$C = \$263,17$$

En la planta se tiene una pérdida de 200 kg diarios de harina en cada turno de 8 horas. Esto le genera a la planta una pérdida diaria de \$150 cuando se trabaja un solo turno diario, lo que implica una pérdida de aproximadamente \$ 38550 en un año, de los cuales se pretende recuperar un 60% ya que el otro 40% se pierde en otros procesos.

Al ser comparado este valor a recuperar en materia prima (\$23130) con los valores que se generan en materiales y construcción (\$12383,84) se puede observar que el valor a invertir es el 53% del valor que se va a recuperar.

3.2.3 Impacto económico

El principal objetivo de un sistema de extracción es la preservación del ambiente y la salud del personal que se encuentra laborando en la planta, por lo que en el análisis se comparará principalmente los costos de operación e inversión con las posibles sanciones debido a enfermedades laborales vinculadas a exposición de estos polvos.

En base a la resolución 390 del REGLAMENTO DEL SEGURO GENERAL DE RIESGOS DEL TRABAJO existen 3 tipos de incapacidades permanentes:

- Incapacidad Parcial: Produce en el trabajador una lesión o alteración funcional permanente que signifique un deterioro de la integridad física y aptitud para laborar del afiliado.
- Incapacidad total: Impide al afiliado la realización de sus tareas fundamentales en el trabajo.
- Incapacidad absoluta: Inhabilita al afiliado para la realización de todo tipo de tareas requiriendo inclusive de cuidados permanentes.

En este caso podemos tomar como referencia a un operario que desarrolló una enfermedad pulmonar obstructiva crónica debido a la cantidad elevada de PM_{2,5} en el ambiente laboral, lo que contaría como una incapacidad total cuya pensión equivale al 80% de un salario básico. Suponiendo que esta persona tiene 35 años de edad, se le deberá cancelar hasta que cumpla la edad de jubilación.

AÑOS DE INDEMNIZACIÓN = EDAD DE JUBILACIÓN – EDAD ACTUAL

AÑOS DE INDEMNIZACIÓN = 70 – 35

AÑOS DE INDEMNIZACIÓN = 35 AÑOS

INDEMNIZACIÓN = (12*AÑOS DE INDEMNIZACIÓN)*(0.8*SALARIO BÁSICO)

INDEMNIZACIÓN = (12*35)*(0.8*366)

INDEMNIZACIÓN = 420*292.8

INDEMNIZACIÓN = \$122976

En cuanto a las normas ambientales, según el artículo 80 en el Libro VI De La Calidad Ambiental del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS), se impone una multa entre 20 y 200 salarios básicos unificados en caso de incumplimiento.

*MULTA TOTAL = #SALARIOS * SALARIO BÁSICO*

*MULTA TOTAL = 20*366*

MULTA TOTAL = \$7320

Por lo que el valor a cancelar entre multas e indemnizaciones es de \$130296, el cual es casi 12 veces la inversión total del sistema.

CAPITULO 4

4. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El sistema de extracción seleccionado para recoger el polvo en la planta de cereales extruidos tuvo como separador de partículas un filtro mangas tipo pulse jet, que cuenta con un total de 12 mangas de polipropileno de diámetro 120 mm y de alto 865 m, y en un arreglo de 4 filas por 3 columnas.
- La campana del sistema se ubicó en el lugar de vaciado de sacos de harina, que es el sitio donde se ubica el principal foco de contaminación de la planta. El aire requerido para limpieza de mangas en el filtro, proviene del circuito de aire comprimido de la planta.
- Diariamente se perdían 200 kg (150 dólares) de harina a causa de la ausencia de un método de control de partículas de harina que se dispersan en el aire; la implementación de éste sistema genera un ahorro significativo de \$38550 en éste rubro.
- Considerando la eficiencia de éste tipo de separador de partículas (99%), cuando se lo implementa existe un efecto positivo muy notable en el tema de la seguridad y salud ocupacional para los operarios de la planta. Pues la exposición prolongada de este tipo de polvos puede ocasionar enfermedades respiratorias al personal que labora en esa área.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la instalación del sistema, ya que este evitará posibles futuras enfermedades en el personal que labora en la planta.
- Realizar mantenimientos preventivos al sistema con el objeto de aumentar la vida útil del mismo, y de evitar que sufra daños que disminuyan el desempeño de su funcionamiento, pues como se pudo observar anteriormente la falta de control de material particulado tiene efectos económicos y de salud ocupacional negativos.
- Garantizar un suministro de energía eléctrica estable para los componentes eléctricos, electrónicos del sistema.

- Realizar mediciones semestrales para evaluar la calidad del aire en la zona de alimentación de materia prima.

BIBLIOGRAFÍA

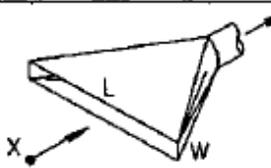
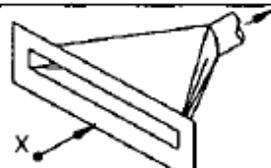
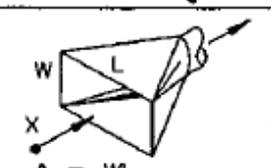
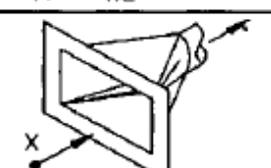
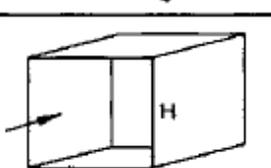
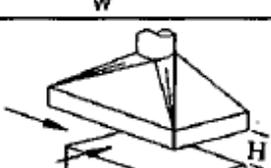
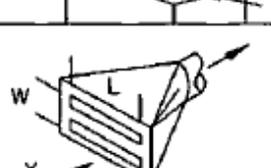
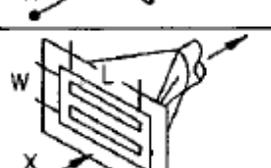
- ACGIH. (1992). *Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales* (Vol. 1ra Edición en Español). (A. C. Hygienists, Trad.) Valencia, España: Generalitat Valenciana.
- Avallone, E., Baumeister, T., & Sadegh, A. (2007). *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers* (Vol. 11). New York: McGraw Hill.
- Direct Industry. (s.f.). *Direct Industry, El salón online de la industria*. Obtenido de <http://pdf.directindustry.es/pdf-en/greenheck/centrifugal-fan-performance-supplement-single-width/98297-581714.html>
- EPA. (Enero de 2002). *EPA Air Pollution Control Cost Manual*. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: http://www3.epa.gov/ttn/catc1/dir1/c_allchs.pdf
- EPA. (2002). Sección 6: Control de Material Particulado. En *EPA AIR POLLUTION CONTROL COST MANUAL*.
- EPA. (s.f.). AP- 42, Chapter 9: Food and Agricultura Industries. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors,, Volume 1: Stationary Point and Area Sources*.
- Goodfellow, H., & Tähti, E. (2001). *Industrial Ventilation Design Guidebook*. Academic Press.
- INEN. (1987). CPE INEN 01. En *Código de Práctica para Manipulación de Alimentos*.
- Ministerio del Ambiente. (2011). Libro 6, Anexo 4. En *Norma de Calidad de Aire Ambiente* (pág. 7). Quito.
- OMS. (Marzo de 2014). Obtenido de ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- Soler & Palau. (s.f.). *Sistemas de Ventilación. Manual Práctico de Ventilación*.

APÉNDICES

APÉNDICE A

TIPOS DE CAMPANA DE EXTRACCIÓN

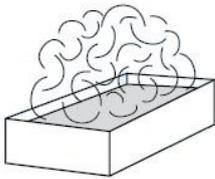
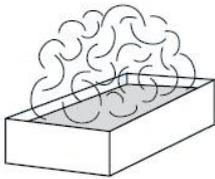
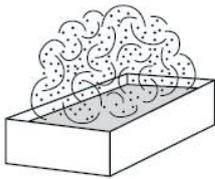
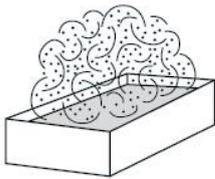
(ACGIH, 1992)

TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE FORMA W/L	CAUDAL
	RENDIJA	0,2 Ó MENOS	$Q = 3,7 LVX$
	RENDIJA CON PESTAÑA	0,2 Ó MENOS	$Q = 2,6 LVX$
	CAMPANA SIMPLE	0,20 Ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = V(10X^2 + A)$
	CAMPANA SIMPLE CON PESTAÑA	0,2 Ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$
	CABINA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = VA = VWH$
	CAMPANA ELEVADA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = 1,4 PVH$ VER VS-903 P = PERÍMETRO H = ALTURA SOBRE LA OPERACIÓN
	RENDIJA MÚLTIPLE. 2 Ó MÁS RENDIJAS	0,2 Ó SUPERIOR	$Q = V(10X^2 + A)$
	RENDIJA MÚLTIPLE CON PESTAÑA. 2 Ó MÁS RENDIJAS	0,2 Ó SUPERIOR	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$

APÉNDICE B

VALORES RECOMENDADOS DE VELOCIDAD DE CAPTURA PARA DIFERENTES CONDICIONES

(Soler & Palau)

<p>Únicamente gases y vapores</p> 	Características de la fuente de contaminación	Ejemplos	Velocidad de captación m/s	
	Desprendimiento con velocidades casi nulas y aire quieto.	Cocinas. Evaporación en tanques. Desengrasado.	0,25 - 0,5	
	Desprendimientos a baja velocidad en aire tranquilo.	Soldadura. Decapado. Talleres galvanotecnia.	0,5 - 1	
	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Cabinas de pintura.	1 - 2,5	
<p>Con partículas sólidas en suspensión</p> 	Generación activa en zonas de movimiento rápido del aire.	Trituradoras.	1 - 2,5	
	Desprendimiento a alta velocidad en zonas de muy rápido movimiento del aire.	Esmerilado. Rectificado.	2,5 - 10	
	<p>Se adoptarán valores en la zona inferior o superior de cada intervalo según los siguientes criterios:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Inferior</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pocas corrientes de aire en el local. 2. Contaminantes de baja toxicidad. 3. Intermitencia de las operaciones. 4. Campanas grandes y caudales elevados. </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Superior</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Corrientes turbulentas en el local. 2. Contaminantes de alta toxicidad. 3. Operaciones continuas. 4. Campanas de pequeño tamaño. </td> </tr> </table>			<p>Inferior</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pocas corrientes de aire en el local. 2. Contaminantes de baja toxicidad. 3. Intermitencia de las operaciones. 4. Campanas grandes y caudales elevados.
<p>Inferior</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pocas corrientes de aire en el local. 2. Contaminantes de baja toxicidad. 3. Intermitencia de las operaciones. 4. Campanas grandes y caudales elevados. 	<p>Superior</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Corrientes turbulentas en el local. 2. Contaminantes de alta toxicidad. 3. Operaciones continuas. 4. Campanas de pequeño tamaño. 			

APÉNDICE C

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS DISPOSITIVOS PARA FILTRACIÓN DE AIRE

(Avallone, Baumeister, & Sadegh, 2007)

Table 18.1.13 Characteristics of Air- and Gas-Cleaning Devices

Name of device		Device most suitable for	Removable contaminants	Optimum size particle, μm	Limits of gas temperature, $^{\circ}\text{F}$	Opt. conc., ppm by wt	Lim. gas temp., K
General class	Specific type						
Odor adsorbers	Shallow bed	Atmospheric air cleaning	Malodors, gases	(Molecular)	0-100	< 1.9	256-311
Air washers	Spray chamber Wet cell			> 20 > 5	40-700 40-700	< 9.5	278-644
Electro. precip., low-voltage	Two-stage, plate Two-stage, filter		Lints, dusts, pollens, tobacco smoke	< 1 < 1	0-250 0-180	< 1.9	256-394
Air filters, viscous-coated	Throwaway		> 5	0-180	< 3.81	256-356	
Air filters, dry-fiber	Washable		> 5	0-250	< 3.81	256-394	
	5-10 μm		> 3	0-180	< 1.9	256-356	
	2-5 μm		> 0.5	0-180	< 1.9	256-356	
Absolute filters	Paper		Special †	< 1	0-1,800	< 1.9	256-1,256
Industrial filters	Cloth bag Cloth envelope			> 0.3 > 0.3	0-180‡ 0-180‡	> 190 > 190	256-356 256-356
Electro. precip., high-voltage	Single-stage, plate Single-stage, pipe			< 2 < 2	0-700 0-700	> 190 > 190	256-644 256-644
Dry inertial collectors	Settling chamber	Stack gas cleaning	> 50	0-700	> 9,520	256-644	
	Baffled chamber		> 50	0-700	> 9,520	256-644	
	Skimming chamber		> 20	0-700	> 1,905	256-644	
	Cyclone		> 10	0-700	> 1,905	256-644	
	Multiple-cyclone		> 5	0-700	> 1,905	256-644	
	Impingement		> 10	0-700	> 1,905	256-644	
	Dynamic		> 10	0-700	> 1,905	256-644	
Scrubbers§	Cyclone		Gases, vapors, malodors	> 10	40-700	> 1,905	256-644
	Impingement			> 5	40-700	> 1,905	256-644
	Dynamic			> 10	40-700	> 1,905	256-644
	Fog	< 2		40-700	> 190	256-644	
	Pebble bed	> 5		40-700	> 190	256-644	
	Multidynamic	< 1		40-700	> 190	256-644	
	Venturi	< 2		40-700	> 190	256-644	
	Submerged nozzle	> 2		40-700	> 190	256-644	
	Jet	< 5		40-700	> 190	256-644	
Incinerators	Direct	Gases, vapors, malodors	Any (Molecular)	2,000	Combustible any	1,367	
Afterburners	Catalytic		(Molecular)	1,000		811	
Gas absorbers	Spray tower Packed column Fiber cell		(Molecular) (Molecular) (Molecular)	40-100 40-100 40-100	> 1.9 > 1.9 > 1.9	278-311 278-311 278-311	
Gas adsorbers	Deep bed		(Molecular)	0-100	> 1.9	256-311	

* Based on std. air @ 0.075 lb/ft³ (1.2 kg/m³).

† Bacteria, radioactive, or highly toxic fumes.

‡ 500°F for glass (553 K), 450°F for Teflon (505 K), 275°F for dacron (408 K), and 240°F for orlon (389 K).

§ Reheating of scrubbed stack is necessary to avoid plumes.

SOURCE: Jorgensen, "Fan Engineering," Buffalo Forge Co. Used by permission.

APÉNDICE D

PROPIEDADES DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TELAS PARA MANGAS (EPA, 2002)

Table 1.6: Properties of Leading Fabric Materials^a

Fabric	Temp °F ^b	Acid Resistance	Alkali Resistance	Flex Abrasion
Cotton	180	Poor	Very good	Very good
Creslan ^c	250	Good in mineral	Good in weak acids	Good to very good alkali
Dacron ^d	275	Good in most mineral acids; dissolves partially in concentrated H ₂ SO ₄	Good in weak alkali; fair in strong alkali	Very good
Dynel ^e	160	Little effect even in high concentration	Little effect even in high concentration	Fair to good
Fiberglas ^f	500	Fair to good	Fair to good	Fair
Filtron ^e	270	Good to excellent	Good	Good to very good
PTFE membrane	Depends on backing	Depends on backing	Depends on backing	Fair
Nextel ^g	1,400	Very good	Good	Good
Nomex ^d	375	Fair	Excellent at low temperature	Excellent
Nylon ^d	200	Fair	Excellent	Excellent
Orlon ^d	260	Good to excellent in mineral acids	Fair to good in weak alkali	Good
P84 ^h	475	Good	Good	Good
Polypropylene	200	Excellent	Excellent	Excellent
Ryton ⁱ	375	Excellent	Excellent	Good
Teflon ^d	450	Inert except to fluorine	Inert except to trifluoride, chlorine, and molten alkaline metals	Fair
Wool	200	Very good	Poor	Fair to good

APÉNDICE E

RELACIÓN AIRE/TELA PARA MANGAS DE FILTRO (EPA, 2002)

Table 1.1: Gas-to-Cloth Ratios for Baghouse/Fabric Combinations^{a,b}
(actual ft³/min)/(ft² of net cloth area)

Dust	Shaker/Woven Fabric Reverse-Air/Woven Fabric	Pulse Jet/Felt Fabric Reverse-Air/Felt Fabric
Alumina	2.5	8
Asbestos	3.0	10
Bauxite	2.5	8
Carbon Black	1.5	5
Coal	2.5	8
Cocoa, Chocolate	2.8	12
Clay	2.5	9
Cement	2.0	8
Cosmetics	1.5	10
Enamel Frit	2.5	9
Feeds, Grain	3.5	14
Feldspar	2.2	9
Fertilizer	3.0	8
Flour	3.0	12
Fly Ash	2.5	5
Graphite	2.0	5
Gypsum	2.0	10
Iron Ore	3.0	11
Iron Oxide	2.5	7
Iron Sulfate	2.0	6
Lead Oxide	2.0	6
Leather Dust	3.5	12
Lime	2.5	10
Limestone	2.7	8
Mica	2.7	9
Paint Pigments	2.5	7
Paper	3.5	10
Plastics	2.5	7
Quartz	2.8	9
Rock Dust	3.0	9
Sand	2.5	10
Sawdust (Wood)	3.5	12
Silica	2.5	7
Slate	3.5	12
Soap, Detergents	2.0	5
Spices	2.7	10
Starch	3.0	8
Sugar	2.0	13
Talc	2.5	5
Tobacco	3.5	
Zinc Oxide	2.0	

^aReference[18]

^bGenerally safe design values; application requires consideration of particle size and grain loading.

FACTORES PARA LA RELACIÓN AIRE/TELA PARA FILTROS DE MANGAS CON LIMPIEZA PULSE JET
(EPA, 2002)

Table 1.4: Factors for Pulse-Jet Gas-to-Cloth Ratios^a

A. Material Factor

15 ^b	12	10	9.0	6.0 ^c
Cake mix	Asbestos	Alumina	Ammonium	Activated carbon
Cardboard dust	Buffing dust	Aspirin	phosphate-fertilizer	Carbon black (molecular)
Cocoa	Fiborous and cellulosic material	Carbon black (finished)	Cake	Detergents
Feeds	Foundary shakeout	Cement	Diatomaceous earth	Fumes and other dispersed products direct from reactions
Flour	Gypsum	Ceramic pigments	Dry petrochemicals	Powdered milk
Grain	Lime (hydrated)	Clay and brick dusts	Dyes	Soap
Leather dust	Perlite	Coal	Fly ash	
Sawdust	Rubber chemicals	Fluorspar	Metal powder	
Tobacco	Salt	Gum, natural	Metal oxides	
	Sand	Kaolin	Pigments	
	Sandblast dust	Limestone	metallic end synthetic	
	Soda ash	Perchlorates	Plastics	
	Talc	Rock dust, ores and minerals	Resins	
		Silica	Silicates	
		Sorbic acid	Starch	
		Sugar	Stearates	
			Tannic acid	

B. Application Factor

Nuisance Venting Relief of transfer points, conveyors, packing stations, etc.	1.0
Product Collection Air conveying-venting, mills, flash driers, classifiers, etc.	0.9
Process Gas Filtration Spray driers, kilns, reactors, etc.	0.8

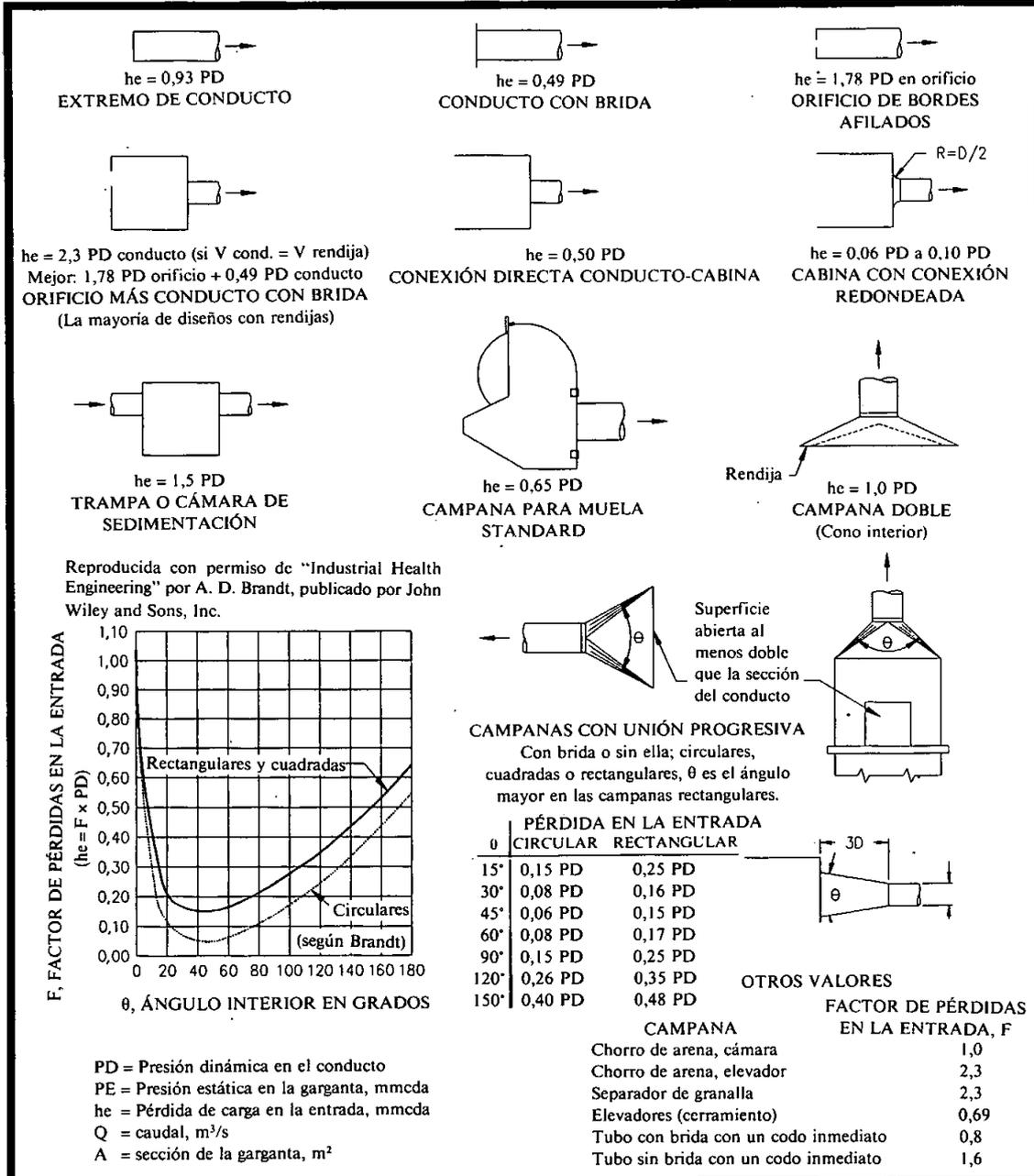
^aReference [20]

^bIn general, physically and chemically stable material.

^cAlso includes those solids that are unstable in their physical or chemical state due to hygroscopic nature, sublimation, and/or polymerization.

APÉNDICE F

FACTORES DE PERDIDA DE CARGA EN LA ENTRADA A LOS DUCTOS (ACGIH, 1992)



AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

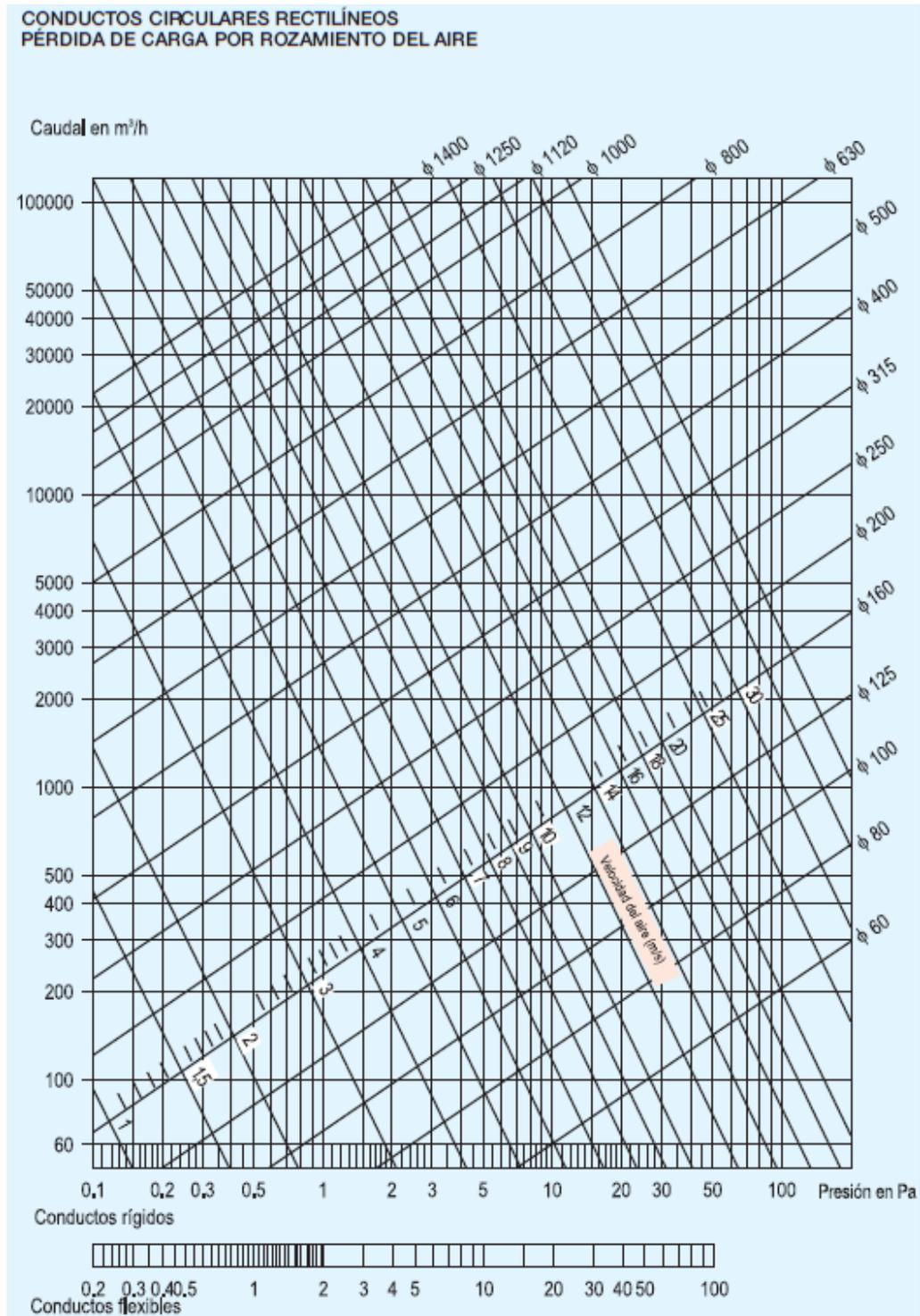
FACTORES DE PÉRDIDA DE CARGA
EN LAS ENTRADAS

FECHA 7-89

FIGURA 5-15

APÉNDICE G

PÉRDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS RECTILÍNEAS



(Soler & Palau)

APÉNDICE I

COSTO ESTIMADO DE LOS DISPOSITIVOS PARA FILTRACIÓN DE AIRE

(Avallone, Baumeister, & Sadegh, 2007)

Table 3 Cost and Performance Estimates for Particulate Matter Control Technologies

Technology	Annualized Costs per scfm (per sm ³ /sec)	Cost Effectiveness per Short Ton (per metric ton)	Control Efficiency	Gas Flow	Particle Loading
Cyclone	\$1.30–\$13.50 (\$2800–\$29,000)	\$0.43–\$400 (\$0.47–\$440)	90%	1060–25,400 scfm (0.5–12 sm ³ /sec) per cyclone	1–100 g/scf (2.3–230 g/sm ³)
Venturi	\$5.7–\$193 (\$12,000–\$409,000)	\$70–\$2400 (\$77–\$2600)	99%	500–100,000 scfm (0.2–480 sm ³ /sec)	0.1–50 g/scf (1–110 g/sm ³)
Pulse jet fabric filter	\$6–\$39 (\$13,000–\$83,000)	\$42–\$266 (\$46–\$293)	99–99.9% (new units) 95–99.9% (older units)	100–100,000+ scfm (0.10–50+ sm ³ /sec)	0.5–10 g/ft ³ (1–23 g/m ³)
Reverse air fabric filter	\$8–\$50 (\$17,000–\$106,000)	\$53–\$337 (\$58–\$372)	99–99.9% (new units) 95–99.9% (older units)	100–100,000+ scfm (0.10–50+ sm ³ /sec)	0.5–10 g/ft ³ (1–23 g/m ³)
Dry ESP (wire-tube configuration)	\$9–\$26 (\$19,000–\$55,000)	\$43–\$640 (\$47–\$710)	99–99.9%	1,000–100,000 scfm (0.5 to 50 sm ³ /sec)	0.5–5 g/scf (1–10 g/m ³)
Dry ESP (wire-plate configuration)	\$4–\$38 (\$9100–\$81,000)	\$35–\$236 (\$38–\$260)	99–99.9%	200,000–1,000,000 scfm (100–500 sm ³ /sec)	1–50g/scf (2–110 g/m ³)

Source: Data from EPA Air Pollution Control Technology Fact Sheets.¹¹