



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MINIMIZACIÓN DE POLVOS
EN LOS SILOS DE HARINA DE MAÍZ TERMINADA DEL
PROCESO PRODUCTIVO DE DEMASECA**

Autor: Ing. Andreína Meléndez

Bárbula, Marzo de 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MINIMIZACIÓN DE POLVOS EN LOS
SILOS DE HARINA DE MAÍZ TERMINADA DEL PROCESO
PRODUCTIVO DE DEMASECA**

Autor: Ing. Andreína Meléndez

Tutor: Ing. MSc. Auxilia Mallia

Bárbula, Marzo de 2018



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MINIMIZACIÓN DE POLVOS EN LOS
SILOS DE HARINA DE MAÍZ TERMINADA DEL PROCESO
PRODUCTIVO DE DEMASECA**

Autor: Ing. Andreína Meléndez

Trabajo presentado ante el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad de
Carabobo para optar al título de Magister en Ingeniería Ambiental

Bárbula, marzo de 2018

DEDICATORIA

Para Ti, es este trabajo y esfuerzo, que lejos de ser una carga, ha sido motivo del disfrute de Tu gloria y Tu presencia en cada situación que se ha presentado, pues te has manifestado dando la solución a todo, no importando el tiempo ni el espacio. Tu eres el Autor y consumidor de la vida y eres mi Ingeniero por excelencia. Gracias por amarme tanto.

Al regalo más grande de la vida, por el que doy todo lo que soy y lo que seré para verlo feliz y crecer, por quién doy mi vida incondicionalmente y motivo de inspiración cada día para culminar este trabajo, por el que quiero que siempre se sienta orgulloso de tenerme en su vida. ¡¡¡Te amo hijo!!!

RECONOCIMIENTO

A la Prof. Auxilia Mallia por sus consejos y ojo clínico para ayudarme a enfocar este trabajo, además de sus excelentes conversaciones que fueron parte de la contribución a este proyecto.

A la Familia Montilla Rodríguez, Familia Vera Sequera y Familia Ramírez Rivero, por formar parte de este éxito como profesional y por todos los bellos y edificantes momentos que compartí en sus hogares. Su ayuda incondicional desde siempre fue clave y de gran valor para mí. Siempre agradecida por todo lo que me brindaron.

A todos mis compañeros de trabajo de la empresa MOLINOS NACIONALES y DEMASECA de las divisiones de trigo y maíz - los que están hoy día aun conmigo y los que ya no-, quienes dejaron de su esencia en este trabajo por sus acertados aportes y consejos técnicos.

A aquellas personas que en momentos buenos o malos fueron parte de mi crecimiento profesional y personal y que colocaron su grano de mostaza en este camino recorrido para disfrutar de la satisfacción de culminarlo por la gracia de Dios y no por mis fuerzas
¡¡¡Gracias totales!!!

INDICE GENERAL

Dedicatoria

Resumen

Introducción

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

I.1 Planteamiento Del Problema.	20
I.2 Formulación del problema.	26
I.3 Objetivo general.	26
I.4 Objetivos específicos.	26
I.5 Justificación.	27
I.6 Alcance.	28
I.7 Limitaciones.	28

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

II.1 Antecedentes de la investigación.	29
II.2 Revisión bibliográfica.	33
II.3 Definición de términos básicos.	46
II.4 Marco Legal.	49

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

III.1 Diseño y Nivel de Investigación.	53
III.2 Fases de Investigación.	53
III.2.1 Revisión Bibliográfica.	53

III.2.2 Diagnostico en el área de molino.	54
III.2.3 Aplicación de entrevista no estructurada.	54
III.2.4 Análisis de Datos Obtenidos.	54
III.2.5 Estimación de costos del diseño propuesto.	55
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
IV.1 Diagnóstico las condiciones actuales de trabajo y operación en el área de molino.	57
IV.2 Planteamiento de alternativas para la minimización de polvos.	65
IV.3 Seleccionar la alternativa más adecuada para la minimización de polvos.	66
IV.4 Diseño del sistema para la minimización de polvos en la actividad de llenado de los silos de harina de maíz terminada en el área de molino con la alternativa seleccionada.	72
IV.5 Estimación de costos del diseño propuesto.	100
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
APÉNDICES	
A.1 Cálculos típicos	112
A.2 Tablas para dimensionamiento de equipos	130

A.2.1 Características de ventilador modelo CX 5500 de la serie APE tipo 711/A de 5,5 kW.	130
A.2.2 Dimensiones del tornillo tipo TRSF-200.	130
A.3 Grafico de Moody	131
A.4 Grafico de pérdidas menores: expansión repentina o súbita	131
A.5 Velocidad de giro recomendada para un transportador de tornillo en función de la clase de material y del diámetro del tornillo.	132
A.6 Coeficientes de resistencia k para conectores de tubería.	132
A.7.1 Índice de precios al consumo.	133
A.7.2 Precios y costes / índice de precios industriales desde enero de 1975 hasta agosto de 2017.	134
A.8 Costos de equipo para filtros con chorro a pulso (jet pulse - caja común).	135
A.9 Factor Fd según Wroth	136

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de las evaluaciones de polvos en el ambiente	25
Tabla 2. Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones	36
Tabla 3. Características de los ciclones de alta eficiencia	37
Tabla 4. Características de los ciclones convencionales	37
Tabla 5. Características de los ciclones de alta capacidad	38
Tabla 6. Parámetros de diseño para los ciclones de entrada tangencial	38
Tabla 7. Velocidades de filtración para algunas combinaciones de filtros de talegas y telas.	41
Tabla 8. Guía para el cálculo del número de compartimientos.	43
Tabla 9. Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas.	51
Tabla 10. Intervalo general de velocidades de transporte.	52
Tabla 11. Condiciones de los equipos de trabajo en los silos de harina terminada. Área de molino.	60
Tabla 12. Condiciones de los equipos de control de polvos del sistema de llenado de harina terminada actual. Área de molino.	62
Tabla 13. Ventajas y desventajas de cada alternativa propuesta para la minimización de polvos.	68
Tabla 14. Selección de la alternativa más adecuada para la minimización de polvos.	71

Tabla 15. Condiciones iniciales para el diseño propuesto.	73
Tabla 16. Granulometría de la harina terminada.	74
Tabla 17. Velocidad de filtración para algunas combinaciones de filtros para harina.	84
Tabla 18. Guía para estimar el área total de tela para filtros que utilizan limpieza por agitación o aire en contracorriente.	84
Tabla 19. Selección del filtro de tela.	85
Tabla 20. Factores de resistencia para telas de tejido plano.	85
Tabla 21. Factor para calcular la superficie de tela en grueso a partir del área neta de tela.	86
Tabla 22. Factores para dimensionar un tornillo sin fin.	91

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un dispositivo de control de la contaminación del aire.	35
Figura 2. Funcionamiento de un ciclón.	36
Figura 3. Esquema de un filtro de mangas.	40
Figura 4. Sinfín básico de paso estándar.	44
Figura 5. Diagrama de causa-efecto para análisis de llenado de silos de harina terminada.	58
Figura 6. Diagrama de flujo de llenado de silos de harina terminada.	59
Figura 7. Diagrama de flujo de la alternativa seleccionada A4.	72
Figura 8. Dimensiones del tipo de ciclón de alta capacidad.	75
Figura 9. Sistema de minimización de polvos planteado.	77



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA MINIMIZACIÓN DE POLVOS EN LOS
SILOS DE HARINA DE MAÍZ TERMINADA DEL PROCESO PRODUCTIVO
DE DEMASECA**

Autor: Ing. Andreína Meléndez

Tutor: Ing. MSc. Auxilia Mallia

Fecha: Marzo de 2018

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema para la minimización de polvos en los silos de harina de maíz terminada del proceso productivo de DEMASECA, a fin de un lograr una disminución del impacto asociado a la actividad de llenado de los silos con harina de maíz terminada, por efecto de los niveles de polvos descargados en el área y al ambiente. Para recolectar la información se empleó la observación directa al proceso para conocer la situación actual del lugar, así como requerimientos del proceso y entrevistas no estructuradas al personal a objeto de de profundizar en las características que presenta el proceso actualmente. Los resultados obtenidos demostraron que para un flujo de alimentación de harina de 12000 kg/h, se logró minimizar la concentración de polvos en el ambiente en un 98,32 %, siendo de este modo una alternativa recomendada para la reducción de contaminante de polvos para este proceso de harina terminada. Además de ello se estimaron los costos asociados a la propuesta planteada mediante el método de índice de costos.

Palabras clave: harina de maíz, minimización de polvos, captura, ciclón, filtro mangas.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**DESIGN OF A SYSTEM FOR MINIMIZING POWDER IN THE FINISHED
CORN FLOUR SILOS OF THE PRODUCTION PROCESS OF DEMASECA**

Author: Ing. Andreína Meléndez

Academic tutor: Ing. MSc. Auxilia Mallia

Date: March 2018

SUMMARY

In the present research the objective was to design a system for the minimization of dust in the finished corn flour silos of the production process of DEMASECA, in order to achieve a reduction of the impact associated with the silos filling activity with finished corn meal, due to the levels of powders discharged in the area and to the environment. In order to collect the information, direct observation of the process was used to know the current situation of the place, as well as process requirements and unstructured interviews to the personnel in order to delve into the characteristics of the current process. The results obtained showed that for a flour feed flow of 12000 kg / h, the concentration of powders in the environment was reduced by 98.32%, thus being a recommended alternative for the reduction of contaminant of powders for this finished flour process. In addition, the costs associated with the proposal were estimated using the cost index method.

Key words: corn flour, dust minimization, capture, cyclone, filter sleeves.

INTRODUCCIÓN

En vista del interés que existe hoy a nivel global de las organizaciones de minimizar el impacto ambiental generado por residuos en sus procesos productivos, se presenta un gran desafío para la humanidad y Venezuela no escapa a esta situación. Es por ello que a continuación se presentó el siguiente proyecto de investigación que pretendió diseñar un sistema para minimización de polvos en la actividad de llenado de los silos de harina de maíz terminada en el área de molino del proceso productivo de DEMASECA, con miras a contribuir a la solución de dicha situación.

Para una mejor comprensión del mismo, se estructuró en cinco capítulos a saber: Capítulo I, titulado Problema de investigación, en donde se especificó la descripción del problema, abarcando la formulación, la justificación y sus limitaciones, así como los objetivos a cumplir para su realización. En el Capítulo II, titulado Marco Teórico, se presentaron las bases teóricas, así como los antecedentes que sirvieron como referencia para la investigación desarrollada. El Marco Metodológico se presentó en el Capítulo III y allí se hizo una descripción del tipo de investigación que se utilizó, además de las actividades que se llevaron a cabo para lograr los objetivos planteados de forma secuencial.

Siguiendo con el orden del presente proyecto, se presentó el Capítulo IV, titulado Presentación Y Discusión de los resultados, en donde se plasmó los resultados

obtenidos para cada objetivo planteado y, comparándose con los conocimientos referentes al tema para ofrecer una solución a la formulación del problema presentado durante este trabajo de investigación.

Y por último, pero no menos importante, se encuentran las Conclusiones y Recomendaciones, en donde se resumió el trabajo de investigación dando respuesta a los objetivos planteados, así como la propuesta de soluciones a las necesidades detectadas.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

I.1 Planteamiento Del Problema

Uno de los mayores retos que afectan a la humanidad tanto en el presente como en el futuro, es la protección del ambiente con el fin de que este desarrollo sea sostenible, pues existe una preocupación generalizada por el medio ambiente que ha ido evolucionando con el tiempo, de tal manera que el acento se ha ido colocando en diferentes aspectos.

En este sentido, uno de los problemas más difundidos y a los que es más sensible la actividad industrial moderna es la contaminación atmosférica, entendiéndose ésta como “la presencia de cualquier tipo de compuesto o sustancia extraña, sea ésta gaseosa, sólida o una combinación de ambas, en cantidad y durante un tiempo de permanencia determinado, que degrada la calidad del aire y que afecta directa o indirectamente a la salud del hombre y su entorno” (Rodríguez, 2008).

La contaminación atmosférica representa un peligro considerable para la salud humana, la flora, la fauna y el ambiente en general, ya que se incrementa con el creciente desarrollo y concentración de la población en grandes núcleos urbanos (Davis, 2005).

Dentro de los contaminantes atmosféricos importantes que se monitorean comúnmente están: los sólidos totales en suspensión STS (menor que 100 μm de diámetro), partículas en suspensión de ≤ 10 μm de diámetro aerodinámico PM_{10} (polvo fino, fracción respirable) y las partículas con 2,5 micrómetros o menos de diámetro aerodinámico $\text{PM}_{2,5}$ (polvo fino, fracción respirable). La razón fundamental de esta especificación se debe a que las partículas más pequeñas son más peligrosas para la salud de los seres humanos porque trae efectos nocivos a la salud como alergias, infecciones e irritaciones respiratorias, lesiones de piel, conjuntivitis entre otra (Spiro, 2004). Estos tipos de afecciones son consecuencia de la acumulación de polvo en los pulmones y de la reacción de los tejidos a la presencia de estos cuerpos extraños con lo que entran en contacto con el hombre (Peña, R., 2011).

En la mayoría de los países están establecidos los límites permisibles de emanaciones de sustancias nocivas a la atmósfera y al medio laboral. Es por esto que, para reducir al mínimo la contaminación por polvo, existen diferentes modos y está disponible en el mundo la tecnología adecuada para tales propósitos. La selección del dispositivo filtrante más adecuado y las técnicas a aplicar se hace en función de la composición y la distribución granulométrica del polvo (material particulado), generado por el proceso productivo.

Generalmente, las organizaciones buscan implementar alguna política, estrategia o acción en el proceso productivo con el fin de minimizar los impactos que

puedan presentarse durante sus operaciones y así garantizar mantenerse dentro de los límites permisibles de las normas nacionales vigentes y mejorar la calidad ambiental aprovechando las oportunidades existentes. Por consiguiente realizan estudios de su ambiente, equipos y estructuras para verificar sus condiciones de operación para mejorarlos a proponer nuevos diseños que contribuyan a cumplir con requisitos legales actuales y a su vez minimizar costos de manufactura y operación.

Según Enger (2006), las técnicas que se aplican para el control de polvos se basan en la aplicación de dos estrategias: eliminación del contaminante antes de su dispersión y variación de las condiciones de producción para disminuir su nivel en el lugar de origen. Ésta última incluye: sustitución por una materia menos peligrosa, separación y aislamiento de los procesos polvorientos, humedecimiento de los materiales para evitar que las partículas queden suspendidas en el aire, ventilación y filtración.

La presencia de material particulado en la contaminación atmosférica y en el aire ambiente del área de trabajo es generado fundamentalmente por los procesos mecánicos (secado, trituración, cribado etc.), que definen la actividad productiva, y porque no existe un sistema adecuado de manejo del material particulado. Por tanto, se puede pensar que un porcentaje mínimo de emisiones de polvo contaminaría el ambiente laboral, los suelos y la vegetación en el entorno de la instalación, y que en presencia de condiciones favorables afectará a la zona aledaña.

Por otro lado, la actividad que genera más cantidad de partículas a la atmósfera es el transporte (Conde, 2006), y más si los transportadores de bandas presentes en el proceso productivo y la descarga de los mismos, no están hermetizados, pues generan emisiones de polvo que ayudan a incrementar la contaminación general. Todo lo anterior contribuye al incremento de la generación de polvos.

Derivados de Maíz Seleccionados, C.A. (DEMASECA) es una empresa destinada a la fabricación y comercialización de harina de maíz precocida. Ésta se encuentra en el municipio Simón Planas del Estado Lara. Tiene una capacidad instalada de 7000TM y una producción mensual de 5500TM, provenientes del empacado de aproximadamente 4800TM de harina de maíz terminada. Esta última se encuentra almacenada en nueve silos dispuestos para tal fin, ubicados en el área de molino de la planta hasta el momento de entrar al proceso de envasado para ser empacada y colocada en estibas que permitan su transporte y comercialización.

Para realizar el llenado de los silos con harina de maíz terminada se cuenta actualmente con un sistema automático controlado por el programa de computación PRO-LAB. Cuando se inicia la actividad de llenado de los silos de harina terminada, dicho programa controla la actividad, además el flujo de entrada de harina que se procesa. Sin embargo, cuando hay un flujo alto de harina, el sistema de alimentación se obstruye y los filtros de manga no funcionan adecuadamente. Esta situación se trata de manera manual con ayuda de operadores y personal de mantenimiento, los cuales

ayudan al transporte de la harina golpeando las estructuras hasta que éstas se liberan y continúa su funcionamiento.

Como resultado de esta condición se genera una alta cantidad de harina de segunda en el área, así como material particulado en el ambiente, la cual se descarga significativamente al ambiente y a las áreas aledañas porque no hay forma de separar este aire que se utiliza para transporte de producto y el material de moltura en ese momento.

Según los estudios realizados para concentraciones de polvos en el ambiente del año 2017, se encontró que los valores promedios de la evaluación estaban dentro de los límites que establece la norma COVENIN 2253 para área de trabajo. Sin embargo, se encontraron en los informes de evaluación recomendaciones para iniciar acciones de control en el ambiente, en vista de que el nivel de intensidad del fenómeno físico era importante y hay evidencia física en la vegetación que se encuentra alrededor de la zona (ver tabla 1). Esto puede traer como consecuencia a posteriori que parte del material particulado sea movilizado por las corrientes de aire hasta la población urbana más cercana, ocasionando de esta manera problemas respiratorios a sus habitantes.

Tabla 1. Resultados de las evaluaciones de polvos en el ambiente

MES/AÑO DE LA EVALUACIÓN	Polvo ambiental (mg/m ³)	Fracción inhalable promedio (mg/m ³)	Fracción respirable promedio (mg/m ³)	Nivel de intensidad del fenómeno físico*	
				Fracción inhalable (mg/m ³)	Fracción respirable (mg/m ³)
DICIEMBRE 2016	44,06	5,52	No se indica	5	1,5
MARZO 2017	55,94	5,74	1,83		
JULIO 2017	46,9	3,55	0.02189		

*(50%) del Nivel Técnico de Referencia de Exposición correspondiente.

Fuente: Departamento de seguridad integral DEMASECA (2017)

Por otro lado, se observa en los últimos meses del año algunas fluctuaciones en los índices de harinilla generada en el proceso productivo, que muestran repuntes significativos por encima de los valores mínimos establecidos en planta, que se traducen en aumento en los costos de manufactura y venta a terceros.

Por todo lo anteriormente expuesto se hace necesario buscar una propuesta viable que permita minimizar las concentraciones de polvos presente en el área de molino por efecto de la actividad de llenado de los silos de harina de maíz terminada,

que garanticen las condiciones ambientales en el área cumpliendo con la normativa nacional vigente.

I.2. Formulación del problema

¿Se puede involucrar equipos y/o tecnologías adecuadas que contribuyan a un mejor ambiente laboral y aportar soluciones de acuerdo a la conservación del ambiente aledaño a la planta en donde se desarrolla este proceso productivo sin afectar la producción de este producto de consumo masivo?

I.3 Objetivo general

Diseñar un sistema para la minimización de polvos en los silos de harina de maíz terminada del proceso productivo de DEMASECA.

I.4 Objetivos específicos

I.4.1 Diagnosticar las condiciones actuales de trabajo y operación en el área de molino.

I.4.2 Plantear alternativas para la minimización de polvos.

I.4.3 Seleccionar la alternativa más adecuada para la minimización de polvos.

I.4.4 Diseñar el sistema para la minimización de polvos en la actividad de llenado de los silos de harina de maíz terminada en el área de molino con la alternativa seleccionada.

I.4.5 Realizar la estimación de costos del diseño propuesto.

I.5 Justificación

Dada la necesidad de contribuir a minimizar el impacto asociado por la actividad de llenado de los silos con harina de maíz terminada, por efecto de los niveles de polvos descargados en el área y al ambiente para garantizar un desarrollo sostenible y beneficiando así a la comunidad circundante que hace vida en la región de manera responsable con el medio ambiente, se hizo de especial interés esta propuesta de diseño.

Asimismo, se lograría un uso racional de los recursos energéticos y humanos para la actividad de llenado de los silos de harina de maíz terminada, lo cual permite la reducción de costos en mantenimiento, reemplazo de equipos, mano de obra, consumo energético y tiempos de parada por obstrucciones en el sistema de transporte de harina de maíz terminada. Por otra parte, se reduciría el tiempo de limpieza y la cantidad de desperdicio que se genera del proceso de saneamiento y una disminución en el valor de pérdidas por este concepto, aprovechando así el material no ingresa a producción por existir puntos donde el mismo tiende a descargarse al ambiente.

Otro punto importante es que permitiría un mejoramiento en el ambiente de trabajo en el área de molino que representa un incremento en el bienestar del clima laboral durante la jornada diaria y una adecuada ejecución de las actividades por parte del personal.

Aunado a esto, se señala que esta propuesta figura como un posible antecedente en futuras investigaciones que incluyan una solución práctica a oportunidades de mejora en los procesos productivos y, de este modo, lograr la integración armoniosa entre la academia y la industria, por lo que al aplicar los conocimientos adquiridos en el programa de maestría se pone en manifiesto la transversalidad del mismo.

I.6 Alcance

La presente investigación abarca el proceso de almacenamiento de harina de maíz terminada en el área de molino de DEMASECA.

I.7 Limitaciones

La presente investigación está limitada a la confidencialidad de la información que la empresa considere que no sea divulgada, así como la disponibilidad de datos para el cálculo de costos actualizados de los equipos que se van a diseñar.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1 Antecedentes de la investigación

Gómez, C. (2015). **Propuesta para el diseño de un sistema de aspiración de aserrín para la Cooperativa “La Luz” ubicada en Chivacoa Municipio Bruzual, estado Yaracuy.** Universidad Fermín Toro. Cabudare.

En este trabajo se propuso un diseño de sistema de aspiración de residuos de aserrín, con la finalidad de evitar daños en la salud de los trabajadores y disminuir la contaminación ambiental en la Cooperativa “La Luz”. De esta manera, se logró una combinación con motores que optimizaran la succión de los polvos en todo el taller.

Esta investigación se asemeja en cuanto a la búsqueda de estrategias de colección de polvos que permitan minimizar el desperdicio en el proceso productivo y disminuir el efecto en el medio ambiente. Por otra parte, se diferencia en el tipo de producto tratado.

Cajahuamán, M. (2014). **Diseño de un sistema de extracción de polvo para una cabina de granallado semiautomática en la empresa Prometal roca hermanos E.I.R.L.** Universidad nacional tecnológica del cono sur de LIMA. Lima.

En este trabajo se presentó un diseño de un sistema extractor de polvo con ciclón, filtro de manga y ventilador, con la finalidad de reguardar el medio ambiente y apoyo a la comunidad. De esta manera, se logró un prototipo que optimizara la minimización de los polvos.

Esta investigación se asemeja en cuanto a la búsqueda de estrategias de colección de polvos que permitan minimizar el desperdicio en el proceso productivo y disminuir el efecto de los finos en el medio ambiente. Por otra parte, se diferencia en el tipo de producto tratado.

Elortegui, I. y Barbosa, M.R. (2013). **Diseño y optimización de un sistema ciclón-filtro para desempolvado de ambientes industriales**. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Olavarría.

En este trabajo se presentó un diseño de sistemas que combinan ciclón-filtro para la disminución de la concentración de polvos en ambientes de trabajo, con la finalidad de mantener los ambientes de trabajo libres de polvo ha conducido al establecimiento de marcos legales. De esta manera, se logró un algoritmo de cálculo que permite comparar diferentes combinaciones de ciclón-filtro para lograr condiciones óptimas de funcionamiento, minimizando costos.

Esta investigación se asemeja en cuanto a la búsqueda de combinaciones de equipos, utilizando el ciclón como pretratamiento, que puedan conducir a un óptimo económico y técnico de polvos y permitan minimizar el desperdicio en el proceso productivo, así como el efecto de los finos en el medio ambiente. Por otra parte, se diferencia en el tipo de producto tratado, pues está de manera muy general.

Buitrago, J. (2012). **Diseño de un sistema de reinserción de los finos del colector de polvo al proceso productivo de Hevensa**. Universidad Nacional Experimental de Guayana. Ciudad Guayana.

En este trabajo se presentó un diseño de reinserción de los finos del colector de polvo al proceso de elaboración de ferroaleaciones de manganeso y silicio, con la finalidad de minimizar los costos por producto desechado y reguardar el medio ambiente y apoyo a la comunidad. De esta manera, se logró una mezcla prototipo que optimizara la compactación de los polvos para una maquina comercial procesadora de bloques de construcción.

Esta investigación se asemeja en cuanto a la búsqueda de estrategias de colección de polvos que permitan minimizar el desperdicio en el proceso productivo y disminuir el efecto de los finos en el medio ambiente. Por otra parte, se diferencia en el tipo de producto tratado y en que el sistema de colección de polvos ya está en funcionamiento, es decir, no se realiza un diseño de colección de polvos.

Parra, A. (2011). **Diseño de un sistema de ventilación para el área de molino de un central azucarero**. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Barquisimeto.

En este trabajo se presentó un diseño de un sistema de ventilación en una central azucarera, en donde se establecieron una serie de actividades que permitieron desarrollar el diseño del sistema, mediante el estudio de equipos y alternativas de

instalaciones previo análisis de criterios de diseño de sistema de transporte neumático y normas reglamentarias.

Esta investigación se asemeja en cuanto al enfoque en el estudio de las alternativas para el diseño de sistemas evaluando las posibilidades disponibles para este fin y diseñando la mejor alternativa encontrada, todo esto con el fin de determinar los límites de operación segura de los equipos involucrados. Por otra parte, se diferencia en el tipo de producto tratado y forma de control del sistema, pues se está hablando de aspiración y recolección de azúcar en proceso, además de la puesta en marcha de un software de simulación.

Ramírez, F. (2009). **Diseño de un sistema de aspiración y recolección de cal en polvo para una empresa calera**. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Barquisimeto.

En este trabajo se presentó un diseño de un sistema de aspiración y recolección de cal en planta, en donde se establecieron una serie de actividades que permitieron desarrollar el diseño del sistema, mediante el estudio de equipos y alternativas de instalaciones previo análisis de criterios de diseño de sistema de transporte neumático y normas reglamentarias.

Esta investigación se asemeja en cuanto al enfoque en el estudio de las alternativas para el diseño de sistemas evaluando las posibilidades disponibles para este fin y diseñando la mejor alternativa encontrada, todo esto con el fin de maximizar la producción

evitando la obstrucción de los equipos por acumulación de producto en el mismo y generación de desperdicio, además de minimizar de manera significativa la cantidad de cal en el ambiente de trabajo. Por otra parte, se diferencia en el tipo de producto tratado, pues se está hablando de aspiración y recolección de cal en proceso.

II.2 Revisión bibliográfica

El control de la emisión de partículas en los procesos industriales ha sido un problema al que se ha dado más importancia en última parte del siglo XX. Este problema llevó a la creación de aparatos colectores de polvo y gases para controlar dicha emisión de partículas. (Fernández Sandoval, 2008).

En el caso de las operaciones industriales, donde está presente el material granular, definido como “el formado por un conjunto de múltiples partículas sólidas de cualquier tamaño” (Soto-Yarritu, 2000), necesita ser recogido, transportado, descargado y transformado. Para estos cometidos, se emplea diversa maquinaria como cintas transportadoras, cangilones, sistemas neumáticos, sistemas hidráulicos y transportes vibrantes, entre otros. Por tanto, es importante tomar en consideración los efectos de manipulación y transporte en proceso que tienden a ser contaminantes.

Un sistema que permita reducir la generación de contaminantes incluye modificación en origen de cualquier proceso, instalaciones, composición del producto, sustitución y reciclaje de materias primas y productos que conduzcan a disminuir las

corrientes residuales tanto en el proceso productivo como en etapas posteriores a su producción. (González Cáceres, 2012).

Se entiende por minimización de los residuos y emisiones de un proceso productivo, como “la adopción de medidas organizativas y operativas que permitan disminuir hasta niveles económica y técnicamente factibles, la cantidad y peligrosidad de los subproductos, residuos y emisiones contaminantes generados que precisan un tratamiento adecuado antes de su disposición final” (De Nevers, 1999). Este objetivo se puede lograr mediante la reducción de la generación de estas sustancias en su origen, según el reciclaje de los subproductos en el mismo proceso o en otros, o en la recuperación de determinados componentes que pudiera contener (Piquer, 2007).

En la industria alimentaria, existen importantes aplicaciones de las técnicas de separación, por ejemplo: la separación de polvo (resultante de procesos de molienda) de corrientes de aire, la recuperación de productos deshidratados (por ejemplo la recuperación de leche en polvo del aire utilizado para lograr la evaporación de agua).

Para el control de emisiones se utilizan diferentes métodos y dispositivos dependiendo de las características de la emisión. Según el principio en que se basa el proceso de separación de las partículas, pueden establecerse los siguientes tipos de equipos de depuración: colectores, precipitaciones electrostáticas, filtros de mangas, lavadoras y absorbedores húmedos. (Martin Estévez y col, 2000).

El objetivo de los dispositivos de control de material particulado (MP) es coleccionar la mayor parte de sus emisiones; es decir, obtener la mejor eficiencia de recolección. Para ello se necesita conocer la operación del dispositivo y aplicarle un adecuado mantenimiento para que trabaje a condiciones óptimas.

Los aparatos de control de contaminación del aire operan en una corriente continua de aire o gas contaminado. El flujo polvoriento de gas fluye dentro del dispositivo, y la mayor parte de las partículas son separadas de la corriente del gas y coleccionadas como sólidos, mientras que el gas aparentemente limpio continúa a través del dispositivo (ver figura 1).

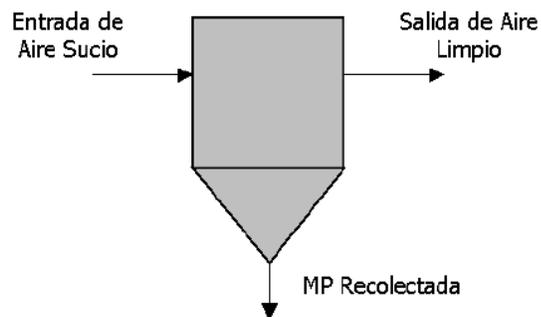


Figura 1. Esquema de un dispositivo de control de la contaminación del aire

Fuente: Fernández Sandoval (2008)

Los ciclones son los separadores de polvo más utilizados debido a su alto costo y su alta eficiencia (Núñez, 1984). En este equipo se aprovecha la fuerza centrífuga

para separar las partículas sólidas de una mezcla de polvo forzándolas hacia las paredes del ciclón, pero es obstruidas por la fuerza de arrastre de fluidos del gas que viaja a través y hacia afuera del ciclón. La gravedad también causa que las partículas mayores que alcanzan las paredes del ciclón se trasladen hacia abajo y dentro de una tolva en el fondo (Woodard, 1998).

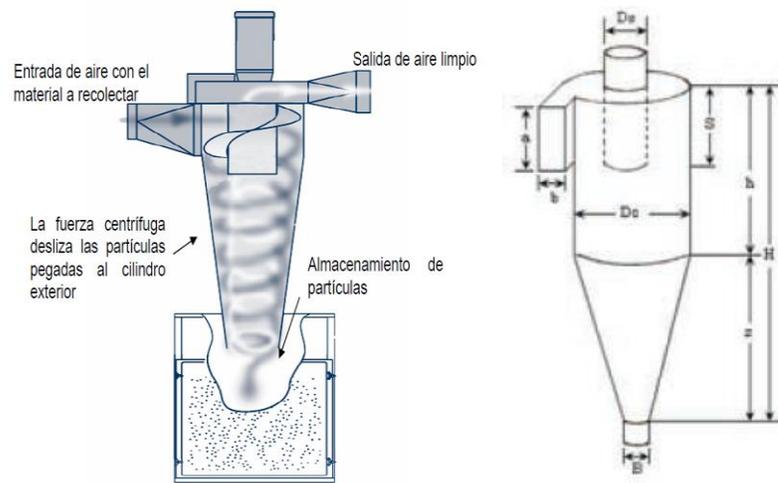


Figura 2. Funcionamiento de un ciclón

Fuente: Nightingale (2010)

Tabla 2. Intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones

Familia de ciclones	Eficiencia de remoción (%)		
	PST	PM10	PM2.5
Convencionales	70 - 90	30 - 90	0 - 40
Alta eficiencia	80 - 99	60 - 95	20 - 70
Alta capacidad	80 - 99	10 - 40	0 - 10

Fuente: Echeverri (2006)

Las tablas 3 a 5 presentan un resumen de las características de las principales familias de ciclones de entrada tangencial. La figura 1 indica las principales dimensiones del ciclón de entrada tangencial. El diámetro del ciclón identifica la dimensión básica de diseño, pues todas las demás dimensiones simplemente son una proporción del diámetro del ciclón.

Tabla 3. Características de los ciclones de alta eficiencia

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.2	0.21	0.2
Altura de salida	S/Dc	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración	G	551.22	698.65	585.71
Número cabezas de velocidad	NH	6.4	9.24	6.4
Número de vórtices	N	5.5	6.0	5.5

Fuente: Echeverri (2006)

Tabla 4. Características de los ciclones convencionales

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón			
		Lapple	Swift	Peterson-Whitby	Zenz
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.5	0.583	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.25	0.25	0.208	0.25
Altura de salida	S/Dc	0.625	0.6	0.583	0.75
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.5	0.5	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	2.0	1.75	1.333	2.0
Altura parte cónica	z/Dc	2.0	2.0	1.837	2.0
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.75	3.17	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.25	0.4	0.5	0.25
Factor de configuración	G	402.88	381.79	342.29	425.41
Número cabezas de velocidad	NH	8.0	8.0	7.76	8.0
Número de vórtices	N	6.0	5.5	3.9	6.0

Fuente: Echeverri (2006)

Tabla 5. Características de los ciclones de alta capacidad

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de ciclón	
		Stairmand	Swift
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.75	0.8
Ancho de entrada	b/Dc	0.375	0.35
Altura de salida	S/Dc	0.875	0.85
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.75	0.75
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.7
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.0
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.7
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4
Factor de configuración	G	29.79	30.48
Número cabezas de velocidad	NH	8.0	7.96
Número de vórtices	N	3.7	3.4

Fuente: Echeverri (2006)

Tabla 6. Parámetros de diseño para los ciclones de entrada tangencial

Parámetro	Valor
Diámetro del ciclón (DC)	< 1.0 m
Caída de presión	< 2488.16 Pa
Relación de velocidades (V_i/V_S)	< 1.35
Velocidad de entrada	15.2 - 27.4 m/s

Fuente: Echeverri (2006)

El procedimiento general de diseño según Echeverri (2006) es el siguiente:

- a) Seleccionar el tipo de ciclón, dependiendo del funcionamiento o necesidades requeridas.
- b) Obtener un estimativo de la distribución de tamaño de las partículas en la corriente gaseosa a ser tratada.
- c) Calcular el diámetro del ciclón para una velocidad de entrada $v_{entrada}$ y determinar las otras dimensiones del ciclón con las relaciones establecidas para las familias de ciclones con base en el diámetro (tablas 3 a 5).

- d) Estimar el número de ciclones necesarios para trabajar en paralelo.
- e) Calcular la eficiencia del ciclón y, si se requiere, seleccionar otro tipo de ciclón.
Para ello se calcula la relación entre la velocidad de saltación y la velocidad equivalente.
- f) Calcular la caída de presión del ciclón y, si se requiere, seleccionar otro tipo de ciclón.
- g) Calcular el costo del sistema y optimizar para hacer el mejor uso de la caída de presión disponible o, si se requiere, para dar el más bajo costo de operación.
- h) Los ciclones generalmente tienen como parámetros de diseño el diámetro del ciclón, la caída de presión y la velocidad de entrada y velocidad de saltación (tabla 6).

Los filtros de mangas son uno de los equipos más representativos de la separación sólido-gas mediante un medio poroso: aparecen en todos aquellos procesos en los que sea necesaria la eliminación de partículas sólidas de una corriente gaseosa. Eliminan las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa haciéndola pasar a través de un tejido (Torrez, 2008).

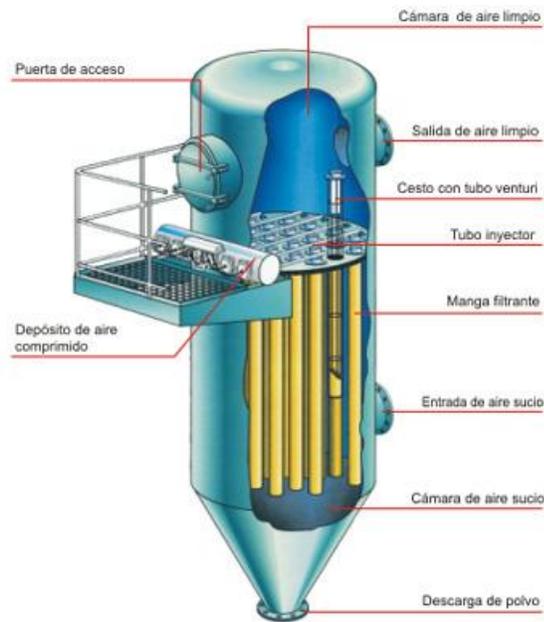


Figura 3. Esquema de un filtro de mangas

Fuente: Lara (2010)

Los filtros de mangas constan de una serie de bolsas con forma de mangas, normalmente de fibra sintética o natural, colocadas en unos soportes para darles consistencia y encerrados en una carcasa de forma y dimensiones muy similares a las de una casa. El gas sucio, al entrar al equipo, fluye por el espacio que está debajo de la placa a la que se encuentran sujetas las mangas y hacia arriba para introducirse en las mangas. A continuación el gas fluye hacia afuera de las mangas dejando atrás los sólidos. El gas limpio fluye por el espacio exterior de los sacos y se lleva por una serie de conductos hacia la chimenea de escape (Lara, 2010).

Según Echeverri (2008), en el diseño riguroso de un filtro de talegas se adopta el siguiente procedimiento:

- a) Se estima la caída de presión promedio requerida (y una caída de presión máxima, si es necesario) junto con el caudal de gas total.
- b) Se especifican las características de operación del filtro de talegas (o sea, el período de filtración, el período de limpieza, y el mecanismo de limpieza).
- c) Se selecciona una velocidad de filtración con base en las propiedades de las partículas (tabla 7) para calcular el área de filtración.
- d) Se calcula el número de compartimientos para el filtro de talegas con base en la tabla 8.
- e) Se calcula el área de cada talega, según el tamaño de la talega, y el número de talegas por compartimiento.

Tabla 7. Velocidades de filtración para algunas combinaciones de filtros de talegas y telas.

PARTÍCULAS	VELOCIDAD DE FILTRACIÓN (M/S)	
	Agitación/Contracorriente (tela tejida)	Aire a presión (fieltro)
Alimento de ganado (granos)	0.018	0.071
Pigmentos de pintura	0.013	0.036
Plásticos	0.013	0.036
Polietileno		0.051

Tabla 7. Velocidades de filtración para algunas combinaciones de filtros de talegas y telas (continuación).

PARTÍCULAS	VELOCIDAD DE FILTRACIÓN (M/S)	
	Agitación/Contracorriente (tela tejida)	Aire a presión (fieltro)
Alimento de ganado (granos)	0.018	0.071
Almidón	0.015	0.041
Alúmina	0.013	
Aluminio	0.015	0.081
Arcilla	0.013	0.046
Arena	0.013	0.051
Asbesto	0.015	0.051
Aserrín	0.018	0.061
Azúcar	0.010	0.066
Bauxita	0.013	0.041
Cacao. chocolate	0.014	0.061
Cal	0.013	0.051
Caliza	0.013	0.051
Carbón	0.013	0.041
Carbón negro	0.008	0.025
Cemento	0.010	0.041
Cenizas	0.013	0.025
Cosméticos	0.008	0.051
Cromo	0.010	0.053
Cuarzo	0.014	0.046
Detergentes. jabón	0.010	0.025
Feldespatos	0.011	0.046
Fertilizante	0.015	0.041
Grafito	0.010	0.025
Harina	0.015	0.061
Humos metálicos	0.008	0.038
Loza	0.018	0.061
Manganeso	0.011	
Mineral de hierro	0.015	0.056
Óxido de aluminio	0.013	0.041
Óxido de plomo	0.010	0.030
Óxido de zinc	0.010	0.025
Óxido férrico	0.013	0.036
Papel	0.018	0.051
Piedra caliza	0.014	0.041

Fuente: Echeverry (2008)

Tabla 8. Guía para el cálculo del número de compartimientos

ÁREA DE LA TELA, M ²	NÚMERO DE COMPARTIMIENTOS
1 - 370	2
371 - 1,114	3
1,115 - 2,322	4 - 5
2,323 - 3,715	6 - 7
3,716 - 5,574	8 - 10
5,575 - 7,432	11 - 13
7,433 - 10,219	14 - 16
10,220 - 13,935	17 - 20
> 13,936	> 20

Fuente: Echeverry (2008)

El tornillo sinfín es uno de los instrumentos más antiguamente usados para el manejo de materiales. Consiste básicamente de un espiral montado en un eje que gira dentro de una artesa o tubo fijo. El material colocado en la artesa es desplazado a lo largo de ésta debido a la rotación del helicoide. Las diferentes aplicaciones de un transportador helicoidal provienen, naturalmente, de dos factores: las características del material a ser transportado y las ventajas peculiares de operación de este tipo de transportador.

Una de las aplicaciones más comunes es descargar material de camiones, silos o contenedores, para después iniciar su proceso. Estos equipos son empleados en

plantas de almacenamiento de granos, molinos alimenticios, plantas de procesamiento de cereales y plantas químicas. (Torrez, 2008).

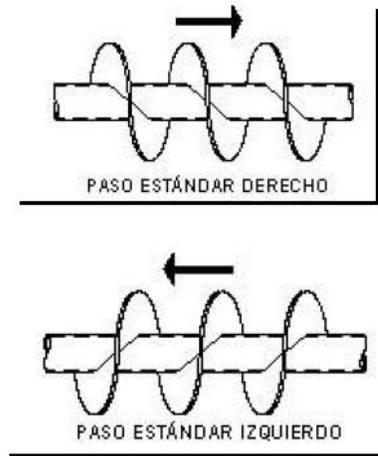


Figura 4. Sinfín básico de paso estándar

Fuente: Torrez (2008)

De acuerdo a la bibliografía consultada, el caudal de transporte se determina mediante la siguiente expresión:

$$I_V = 60 \cdot \phi \frac{\pi}{4} D^2 \cdot S \cdot n$$

(Ecuación 1)

Donde:

ϕ = coeficiente de llenado.

Se considera un valor del coeficiente de llenado de 0,45 propio de materiales que fluyen fácilmente. Se estima para S un valor igual a 0,75D.

Por otro lado, la potencia necesaria por el transportador a plena carga se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = P_H + P_N + P_{St}$$

(Ecuación 2)

Donde

P_H = potencia necesaria para el desplazamiento del material.

P_N = potencia para el accionamiento del tornillo en vacío.

P_{St} = potencia requerida por la inclinación.

II.3 Definición de términos básicos

CAP: siglas de concentraciones ambientales permisibles establecidas en la norma COVENIN 2253.

Esclusa: dispositivo que permite el paso de producto entre dos ambientes de distinta presión y garantiza la hermeticidad de la descarga de sólidos (Montenegro, 2011).

Harina de segunda: Producto recopilado de las chimeneas, endospermo, hojuela, harina (residuos de harina, maíz, hojuela, etc) para reproceso.

Harina terminada: harina de maíz que ya presenta la humedad requerida y vitaminas según normativa legal y que está lista para ser empacada.

Harinilla: residuos de harina, maíz, hojuela, que se encuentra fuera de parámetros, puede presentar infestación o que ha sido recolectado durante las actividades de limpieza de las áreas productivas y/o silos.

Límite de Emisión de Contaminante del Aire: Concentración máxima de emisión permisible de un contaminante del aire, descargado a la atmósfera a través de una chimenea o ducto, establecida para proteger la salud y el ambiente. (Decreto 638 del 26/04/1995).

Material particulado (MP): es una compleja mezcla de partículas suspendidas en el aire las que varían en tamaño y composición dependiendo de sus fuentes de emisiones.

Se puede subdividir en fracción gruesa (de 2,5 a 10 micrones. Puede llegar hasta los pulmones) y fracción fina (menor a 2,5 micrones. Puede ingresar hasta los alvéolos y luego a la sangre). (Urzúa, 2003)

Polvos: término general que designa las partículas sólidas finamente divididas, de dimensiones y procedencia diversa. (Decreto 638 del 26/04/1995)

Polvo de harina: partículas sólidas muy pequeñas creadas por el rompimiento de otras más grandes en procesos como la molienda. El polvo de harina en suspensión es explosivo, como cualquier mezcla de sustancia inflamable finamente pulverizada y aire.

Polvo respirable: partículas de materiales sólidos suspendidas en el aire, capaces de causar daño cuando se deposita en la región de intercambio gaseoso de los pulmones. (COVENIN 2253:2001)

Polvo total (inhalable): partículas de materiales sólidos suspendidas en el aire, capaces de depositarse en cualquier parte del tracto respiratorio. (COVENIN 2253: 2001)

Rasera neumática: da la indicación de llenado de un silo o dispositivo de almacenamiento y es ayuda de la válvula desviadora para repartir la alimentación de un producto.

Subproducto: harina de olor y color no característico no apta para consumo humano.

Válvula desviadora: o de derivación son aquellas que están proyectadas para actuar sobre dos o más fluidos de salida a partir de un fluido de entrada común cambiando la posición del obturador (ARMATUREN, 2013).

II.4 Marco Legal

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA del 15 de Diciembre de 1999. TITULO III DE LOS DERECHOS HUMANOS Y GARANTIAS, Y DE LOS DEBERES, específicamente el capítulo IX (De los Derechos Ambientales)

Artículo 127. Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado.

LEY DE CALIDAD DE LAS AGUAS Y DEL AIRE

ARTICULO 66, LIT 2 y 3. Las personas naturales o jurídicas de carácter privado, dentro de los límites de sus responsabilidades y las personas jurídicas de carácter público, en el ámbito de sus competencias concurrirán a: prevenir y reducir la producción y la nocividad de los desechos, especialmente cuando se trate de la fabricación y distribución de productos; desarrollar y aplicar tecnologías ambientalmente racionales que disminuyan la generación de desechos líquidos y gaseosos, así como establecer sistemas de administración y manejo que permitan reducir al mínimo su generación.

LEY PENAL DEL AMBIENTE

ARTICULO 96. La persona natural o jurídica que emita o permita escape de gases, agentes biológicos o bioquímicos o de cualquier naturaleza, en cantidades capaces de deteriorar o contaminar la atmósfera o el aire, en contravención a las normas técnicas que rigen la materia, será sancionada con prisión de seis meses a dos años o multa de seiscientas unidades tributarias (600 U.T.) a dos mil unidades tributarias (2.000 U.T.).

LEY ORGANICA DE PREVENCIÓN, CONDICIONES Y MEDIO AMBIENTE DE TRABAJO (LOPCYMAT)

Artículo 53, LIT 4. Derechos de los trabajadores y las trabajadoras. Los trabajadores y las trabajadoras tendrán derecho a “no ser sometido a condiciones de trabajo peligrosas o insalubres que, de acuerdo a los avances técnicos y científicos existentes, puedan ser eliminadas o atenuadas con modificaciones al proceso productivo o las instalaciones o puestos de trabajo o mediante protecciones colectivas. Cuando lo anterior no sea posible, a ser provisto de los implementos y equipos de protección personal adecuados a las condiciones de trabajo presentes en su puesto de trabajo y a las labores desempeñadas de acuerdo a lo establecido en la presente Ley, su Reglamento y las convenciones colectivas”.

Artículo 68. De los Niveles Técnicos de Referencia de Exposición. A los efectos de esta Ley, se entiende por Niveles Técnicos de Referencia de Exposición, aquellos valores de concentraciones ambientales de sustancias químicas o productos biológicos,

o niveles de intensidad de fenómenos físicos que, producto del conocimiento científico internacionalmente aceptado y de la experiencia, permitan establecer criterios para orientar las acciones de prevención y control de las enfermedades ocupacionales.

El empleador o empleadora deberá iniciar las acciones de control en el ambiente de trabajo cuando la concentración ambiental de la sustancia en cuestión o el nivel de intensidad del fenómeno físico sea superior al cincuenta por ciento (50%) del Nivel Técnico de Referencia de Exposición correspondiente.

DECRETO N° 638 FECHA 26 DE ABRIL DE 1995 NORMAS SOBRE CALIDAD DEL AIRE Y CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

Artículo 2.- A los fines de este Decreto se entiende por:

- Partícula Suspendeda: Partícula con diámetro menor a 60 micras.
- Polvo: Término general que designa las partículas sólidas finamente divididas, de dimensiones y procedencia diversa.

Artículo 17.- En zonas urbanas o vecinas a centros poblados, donde se realicen construcciones, movimientos de tierra, trabajos de vialidad, actividades mineras, procesamiento, acarreo y almacenamiento de sólidos granulares o finamente divididos, susceptibles de producir, emisiones de polvos, se aplicarán las medidas correctivas para controlarlos, se mantendrá el área de trabajo u operaciones libre de escombros y restos

de materiales y se acondicionarán las vías de acceso dentro del área de trabajo, a objeto de mantener en estas zonas las concentraciones de partículas totales suspendidas dentro de los límites establecidos en el artículo 3°.

COVENIN 2253:2001. CONCENTRACIONES AMBIENTALES PERMISIBLES DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN LUGARES DE TRABAJO E ÍNDICES BIOLÓGICOS DE EXPOSICIÓN (3ª REVISIÓN).

Tabla 9. Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas

Sustancia	CAP (mg/m³)
Partículas inhalables total (fracción inhalable)	10
Partículas respirable (fracción respirable)	3

COVENIN 2250:2000. VENTILACIÓN DE LOS LUGARES DE TRABAJO. (1° REVISIÓN).

4.2.4.1 Todo sistema de ventilación por extracción local debe captar, dirigir o conducir los contaminantes desde su origen, de forma tal que en el lugar de trabajo no sobrepasen las CAP y que se cumplan las disposiciones legales referentes a su descarga al ambiente exterior.

4.2.4.4. La velocidad de aire en los conductos del sistema de ventilación, debe ser tal que garantice el transporte de contaminante, evitando su asentamiento y la obstrucción

del sistema. A tal efecto, se deben utilizar las velocidades de transporte que se indican en la tabla 10.

Tabla 10. Intervalo general de velocidades de transporte

Naturaleza del contaminante	Intervalo de velocidades (m/s)	Ejemplos de contaminantes
Humos y cualquier tipo de vapores y gases.	Cualquier velocidad. Usualmente se utilizan un valor entre 5,0 - 6,0	Vapores, gases y humos.
Humo de fundiciones	7,0 - 10,0	Humos de óxido de aluminio y óxido de zinc.
Polvos livianos muy finos	10,0 - 13,0	Pelusa de algodón, polvo fino en operaciones de lijado de maderas, polvo en operaciones de litografía.
Polvos secos	13,0 - 18,0	Polvo fino de goma, polvo de moldeo de baquelita, polvo de algodón, polvo de jabón.
Polvos industriales típicos	18,0 - 20,0	Aserrín pesado y húmedo, pelusa de pulitura seca, polvo de lana de yute, polvo de moliendas, arenas de sílice, polvo de granito, polvo de cuero, manejo de cuero, manejo de materiales polvorientos y baldosas, polvos de fundiciones, polvo de arcilla, polvo de cal, polvo en operaciones pesado de asbesto en la industria textil.
Polvo pesado	20,0 - 23,0	Polvo de operaciones de torneado de metales, polvo de preparación de arena de desmoldeo en fundiciones, polvo de limpieza con chorro de arena, polvo de plomo, polvo en la forja de hierro, viruta metálica.
Polvos pesados y húmedos	> 23,0	Polvo de plomo con pequeñas virutas, polvo de cemento húmedo, polvo de cal viva.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

III.1 Diseño y Nivel de Investigación

El diseño de investigación sugerida es de campo, pues consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes, por lo que se considera de carácter no experimental. (Sampieri, 1991).

En cuanto al nivel de profundidad se establece como evaluativo porque se basa en una aplicación sistemática del procedimiento de la investigación para la evaluación de la conceptualización, establecimiento de soluciones y la búsqueda de la relación de efectividad y beneficio de la propuesta realizada.

III.2 Fases de Investigación

III.2.1 Revisión Bibliográfica

Para este punto de la metodología, se realizó una revisión y descripción de las características de equipos de minimización de polvos en la industria de alimentos, así como se tomaron en cuenta las bases teóricas relacionadas con las alternativas más conocidas para la minimización más adecuadas para la minimización de polvos en la

industria de alimentos. Por otro lado, se hizo la revisión de diseños propuestos en otros proyectos para minimización de polvos para productos de molinería.

III.2.2 Diagnostico en el área de molino

Se realizó un diagnóstico del área durante tres meses de trabajo, a través de la observación directa del funcionamiento mecánico y estructuras del sistema, así como la utilización de herramientas de análisis de causa-raíz y entrevistas no estructuradas al personal de mantenimiento y producción. Es importante destacar que para este momento de la investigación, la capacidad del área del molino se disminuyó debido a que hubo una inutilización de dos silos de harina y por tanto se consideró que la capacidad considerada para la propuesta era de 12000 kg/h.

III.2.3 Aplicación de entrevista no estructurada

Se realizaron reuniones periódicas con el superintendente de mantenimiento y el superintendente de planta a objeto de profundizar en las características que presenta el proceso actualmente que apoyaran al análisis y debate de las exigencias con relación al proyecto propuesto. De igual manera se revisaron las condiciones del área aledaña a la planta para verificar la afectación que estaba generando la descarga de polvos al ambiente.

III.2.4 Análisis de Datos Obtenidos

Una vez analizadas las propuestas de alternativas encontradas para su aplicabilidad en el área de molino, se procedió al diseño de equipos o alternativas de minimización más adecuadas para el lugar, considerando el área en cuanto a espacio específico ocupe el diseño. Para ello, inicialmente se generó una ponderación cualitativa para cada parámetro seleccionado en el análisis de la matriz de selección del criterio en evaluación, se redujo a una escala del 1 al 5 que se definió como sigue:

1: malo; 2: regular; 3: bueno; 4: muy bueno; 5: excelente

Mientras que en la ponderación cuantitativa, se establecieron los valores para cada parámetro en porcentaje de peso del parámetro (*VALOR DEL CRITERIO (%)*), El total de la evaluación del parámetro para cada alternativa, se definió como:

$$T = P \times \text{VALOR DEL CRITERIO} (\%) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde P es el valor de la ponderación en la escala cualitativa para cada alternativa dependiendo de las características a analizar.

Asignándole un porcentaje de ponderación a los criterios de selección para cada alternativa propuesta y elaborando una matriz para comparar las alternativas consideradas se tomaron las decisiones pertinentes.

Posteriormente, se compararon los valores obtenidos en las matrices de

selección planteadas y se seleccionaron las mejores alternativas de acuerdo al valor más alto al totalizar la ponderación establecida según el rango propuesto.

III.2.5 Estimación de costos del diseño propuesto

En este punto se realizó una búsqueda de catálogo de equipos para control de polvos que se encuentran en el mercado y sean asequibles, así como cartas de precios de proveedores y fabricantes de equipos para la alternativa seleccionada que se pudieron encontrar para el momento, ya que los mismos fueron muy difíciles de recibir por parte de los proveedores, para luego estimar los costos para cada equipo y tubería a utilizar. De no encontrar esta información de proveedores, se realizó una estimación de costos mediante modelos matemáticos que permitieron el cálculo de los costos.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El presente trabajo de investigación consistió en diseñar un sistema para la minimización de polvos en los silos de harina de maíz terminada del proceso productivo de DEMASECA, a fin de un lograr un decremento del impacto asociado a la actividad de llenado de los silos con harina de maíz terminada, por efecto de los niveles de polvos descargados en el área y al ambiente para garantizar un desarrollo sostenible y beneficiando así a la comunidad circundante que hace vida en la región de manera responsable con el medio ambiente.

IV.1 Diagnóstico de las condiciones actuales de trabajo y operación en el área de molino.

Se realizó el diagnóstico del área durante tres meses de trabajo a través de la observación directa del funcionamiento mecánico y estructuras del sistema, además de la utilización de herramientas de análisis de causa-raíz (ver figura 5) y entrevistas no estructuradas al personal de mantenimiento y producción. Se encontró que el proceso de transporte y llenado de harina de maíz terminada en los silos comienza desde el momento en que la misma sale del sistema de humectación y pasa al sistema de transporte neumático a través de la tubería principal de alimentación que contiene seis válvulas desviadoras, de bola y chapaleta, (DE 404 al DE 410) que alimentan a los nueve silos presentes en el área (Ver figura 6). Dicho silos se encuentran numerados en la tabla 11.

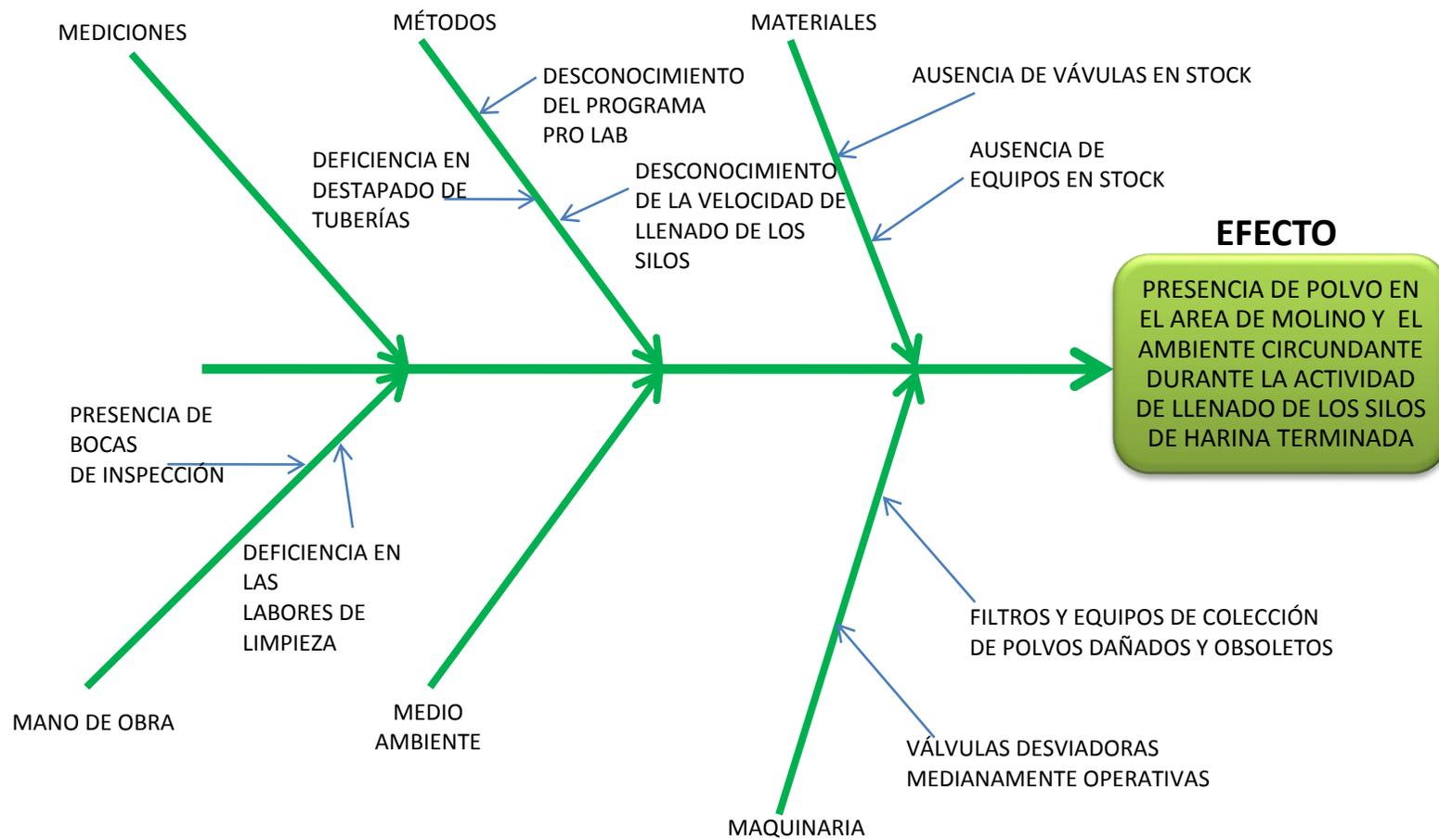


Figura 5. Diagrama de causa-efecto para análisis de llenado de silos de harina terminada

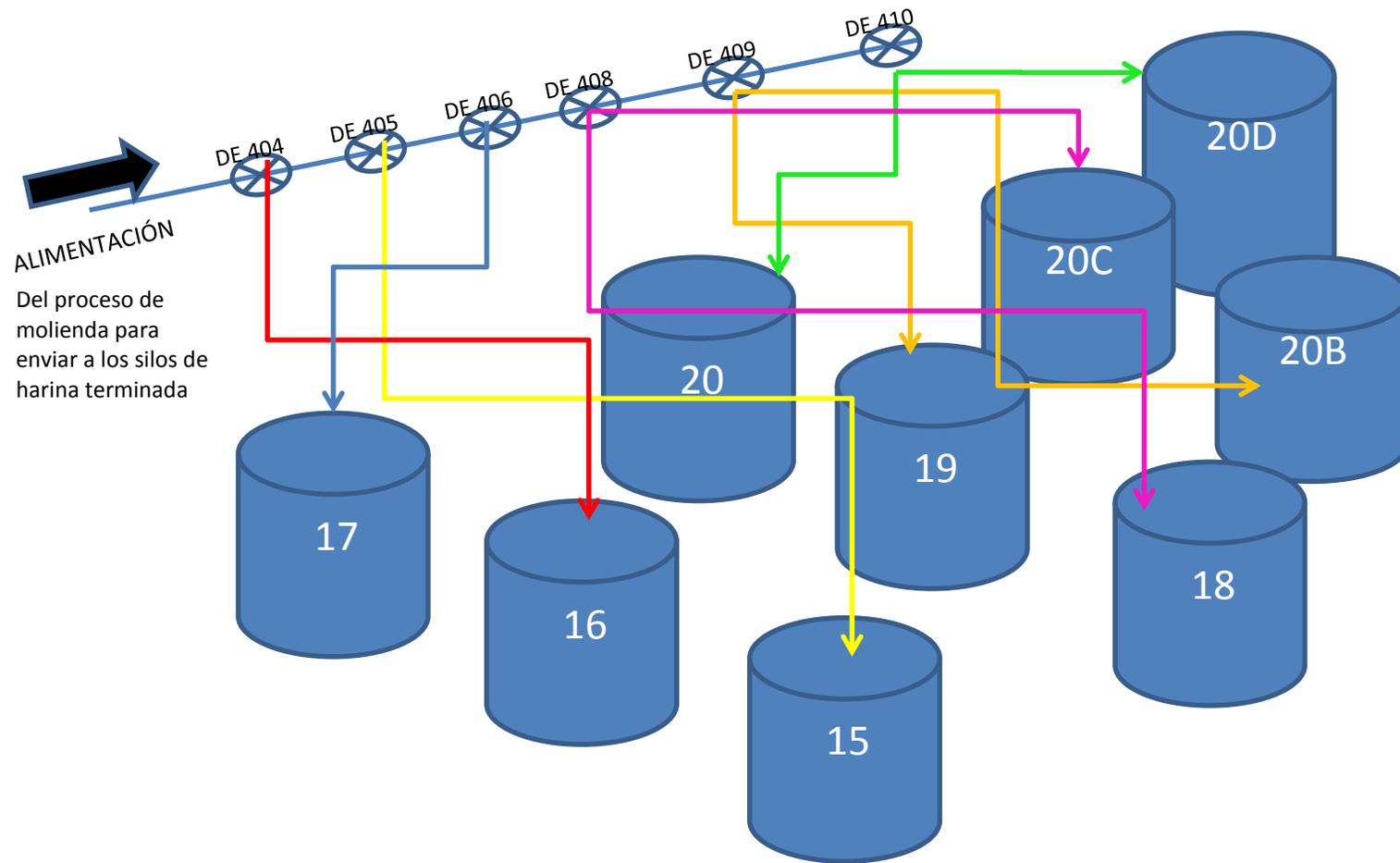


Figura 6. Diagrama de flujo de llenado de silos de harina terminada

Fuente: DEMASECA (2017)

TABLA 11. Condiciones de los equipos de trabajo en los silos de harina terminada. Área de molino

Codificación del silo	Capacidad de almacenamiento del silo (kg)	Válvula desviadora para alimentación*	Ubicación	Condición de la válvula desviadora
15	53743	DE 405	Edificio de molino	50% operativo
16	53743	DE 404	Edificio de molino	50% operativo
17	53743	DE 406	Edificio de molino	50% operativo
18	53743	DE 408	Edificio de molino	50% operativo
19	53743	DE 409	Edificio de molino	50% operativo
20	45000	DE 410	Edificio de molino	50% operativo
20B	46738	DE 409	Edificio de molino	50% operativo
20C	53743	DE 408	Edificio de molino	50% operativo
20D	95351	DE 410	Zona externa del molino	50% operativo

*Válvulas tipo chapaleta. La válvula 403 (válvula de bola) alimenta a las válvulas DE 405 y DE 406.

Fuente: Datos de inventario DEMASECA (2017)

En este mismo orden de ideas, en el sistema se encuentran presentes en las tuberías seis filtros de manga con sus respectivos ventiladores según se observa en la tabla 12.

Para esta actividad de llenado se manejó un flujo de harina terminada de 3500 kg/h provenientes de planta 1 (P1) y 10500 kg/h provenientes de planta 2 (P2), con un peso específico promedio de 0,560 kg/l.

Para elaborar el diagrama de causa-efecto mostrado en la figura 5 se tomaron en cuenta varios problemas operacionales en los equipos de control de polvo del sistema que limitan su eficiencia, en especial los filtros de manga, que a pesar de que estaban operativos, presentaban fugas en algunas zonas las cuales estaban identificadas con etiquetas de reparaciones temporales de vieja data. Asimismo, se encontró mucho polvo segregado por presencia de fugas en las tuberías, pues los empalmes de las mismas no tenían las respectivas gomas de hermeticidad.

Adicional a esto, las válvulas desviadoras se encontraban 50% operativas debido a fallas en el sistema de sellos, lo que generaba presencia de producto fundamentalmente en los alrededores y en la zona superior de los silos de harina, así como en las estructuras metálicas, visores de tuberías y caminerías de acceso a los equipos. Las paredes también presentaron polvo adherido en su superficie.

TABLA 12. Condiciones de los equipos de control de polvos del sistema de llenado de harina terminada actual. Área de molino

Codificación del filtro de manga (FM) y ventilador (V)	Codificación del silo con que trabaja	Ubicación	Características del equipo	Condición del equipo
FM: 444; V: 445	15 y 20	Edificio de molino	<u>FM</u> : potencia: 3Hp; Corriente de alimentación: 3A. <u>V</u> : velocidad del rotor: 348rpm	Operativo
FM: 446; V: 447	16 y 19	Edificio de molino	<u>FM</u> : potencia: 3Hp; Corriente de alimentación: 3A. <u>V</u> : velocidad del rotor: 348rpm	Operativo
FM: 448; V: 448	17 y 18	Edificio de molino	<u>FM</u> : potencia: 3Hp; Corriente de alimentación: 3A. <u>V</u> : velocidad del rotor: 348rpm	Operativo
FM: 449; V: 449	20B y 20C	Edificio de molino	<u>FM</u> : potencia: 3Hp; Corriente de alimentación: 3A. <u>V</u> : velocidad del rotor: 348rpm	Operativo
FM: 465;	20D	Zona externa del molino	<u>FM</u> : potencia: 3Hp; Corriente de alimentación: 3A. <u>V</u> : velocidad del rotor: 348rpm	Operativo

Fuente: Datos del sistema de mantenimiento DEMASECA (2017)

Durante el recorrido, se encontró evidencia de grandes volúmenes de aire con polvo suspendido saliendo de las bocas de inspección de los silos de harina. Según lo investigado durante el tiempo de diagnóstico, la alimentación de los silos era realizada en presencia de un gran flujo de aire y producto y eso provocaba que dentro de la estructura de llenado se generara una gran turbulencia en la harina ya almacenada, dando como resultado nubes de polvo saliente por las tapas superiores.

Esta condición también ocasionaba el tapado de las tuberías que alimentaban a los silos de harina terminaba, provocando que el sistema se detuviera y se generaran tiempos de paradas por este motivo que van de quince minutos en adelante, dependiendo del tramo de tubería que se obstruyera.

Por otro lado, hubo presencia del personal de mantenimiento ejecutando labores de limpieza de estructuras y equipos de operación sin protectores respiratorios en la mayoría de los casos, además de hallarse sacos de polietileno con harinilla proveniente de las actividades de limpieza en el área. Éstos son contabilizados por turno, totalizándose de este modo unos veinte sacos, que corresponden a 500 kg aproximadamente de material recolectado en el lugar. Este número fue corroborado a lo largo de las observaciones realizadas y en entrevista no estructurada por este personal y jefe de producción, en donde también indicaron que, en los días de saneamiento de planta, dicho número se incrementa en más del 100% de su valor.

Esta condición también ocasionaba el tapado de las tuberías que alimentaban a los silos de harina terminaba, provocando que el sistema se detuviera y se generaran tiempos de paradas por este motivo que van de quince minutos en adelante, dependiendo del tramo de tubería que se obstruyera.

De todas las causas encontradas durante el análisis, se le dio más énfasis de solución a la referida con los filtros y equipos colectores de polvos obsoletos y dañados, en vista de que existió en el momento la posibilidad de realizar la propuesta de diseño para dar una respuesta bajo el enfoque de proyecto de mejora continua en la empresa que apoyara al aprovechamiento de la harina que se estaba perdiendo en el área catalogada como harinilla o desperdicio. Además de ello, se tomaron acciones para el resto de las causas encontradas durante el análisis realizado, de modo que estas correcciones también contribuyeran a la operatividad adecuada de cualquier alternativa de minimización de polvos, a saber:

1. Mejorar los stocks de máximos y mínimos de los materiales y válvulas desviadoras en los inventarios que procesa almacén de repuestos considerando el procedimiento de compras P-COM-001 “Procedimiento para realizar el proceso de compras de equipos, bienes y servicios” y los tiempos de respuesta de los proveedores según los precios del mercado: Esta acción se desarrolló con el apoyo del departamento de compras locales y regional, así como almacén de repuestos, contraloría y gerencia de planta en un lapso de tres meses.

2. Realizar charlas mensuales con el personal que labora en el área de molino sobre la importancia de cerrar las bocas de inspección de los silos para minimizar la cantidad de polvos descargados al ambiente: esta acción se desarrolló con cada supervisor de turno durante la charla de seguridad que se dicta todas las semanas, la cual aún se mantiene vigente.
3. Realizar refrescamiento del procedimiento P-MOL-001 “Procedimiento para el arranque y parada del departamento de Molino” con los supervisores de turno y operadores de procesos: esta acción se desarrolló con cada supervisor de turno durante tres meses de manera constante, sin embargo aún se mantiene vigente.
4. Realizar una revisión de los tiempos de respuesta del tratamiento de las reparaciones temporales en el área de molino: esta acción está vigente para el procedimiento P-MAN-010 “Procedimiento para el manejo, control y seguimiento de las reparaciones Temporales“, en vista de que se está migrando para la norma ISO 9001:2015. Esto se realizará con el fin de dar un tratamiento rápido a aquellas reparaciones temporales presentes en el sitio que están impactando a la generación de polvos en el área de molino.

IV.2 Planteamiento de alternativas para la minimización de polvos.

Para determinar la mejor alternativa de minimización de polvos dentro del proceso productivo, las alternativas evaluadas fueron:

Alternativa 1 (A1). **Reubicación de las tuberías de alimentación individuales de cada silo de harina terminada.** Consiste en mover las tuberías de su posición actual y colocarlas de modo que la entrada de harina a los silos sea por uno de los lados de la zona superior y no en el centro del mismo.

Alternativa 2 (A2). **Sustitución de los equipos filtrantes de aire usados y reparación de fugas en algunas áreas localizadas en los silos.** Consta de un plan de colocación de filtros de manga nuevos por los que actualmente se encuentran y reparación de fugas existentes en los silos de harina por efecto de la alta presión de la alimentación de los mismos.

Alternativa 3 (A3). **Colocación de ciclones y filtros de manga en cada silo, justo después de la válvula de desviación de la tubería de alimentación principal.** Consiste en un montaje de un sistema de ciclón-filtro y replicarlos en los nueve silos que se encuentran en operación.

Alternativa 4 (A4). **Colocación de un sistema combinado de ciclón-filtro-tornillo sinfín para el llenado y transporte en los silos.** Consta de un sistema de baja velocidad de transporte con una combinación de equipos que reciben la corriente de alimentación de harina de la tubería principal y realiza la separación adecuada de la harina y del aire que la transporta, de modo que este primer elemento puede ser

transportado uniformemente a lo largo de un tornillo sin fin y se minimice la descarga de harina suspendida al ambiente en forma de nube de polvo.

Alternativa 5 (A5). **Instalación de un Ionizador de material particulado de alto Voltaje.** Consiste en una técnica que utiliza pulsos eléctricos de alto voltaje para controlar contaminantes del aire, en donde el gas es soplado hacia una cámara donde una corriente de 150 kilovoltios (KV) carga a la materia particulada en el aire. Esta última enseguida es atraída hacia una superficie de recolección en donde se adhieren.

Para las alternativas 1, 2 y 4 existe disponibilidad de espacio para ubicación de los equipos que allí se mencionan, a diferencia de las alternativas 3 y 5 que, por ser varios equipos, el espacio se vuelve reducido para su operación. Las ventajas y desventajas de cada alternativa propuesta se muestran en la tabla 13.

IV.3 Seleccionar la alternativa más adecuada para la minimización de polvos.

En este punto, se consideraron los siguientes criterios que permitieron definir una matriz de selección de las alternativas para minimización de polvos y luego escoger la mejor entre todas ellas:

1. Costos de operación que representan en general, los gastos de traslado de material, instalación, montaje de las unidades, conservación, uso de agua, aire comprimido, gasoil y electricidad para el funcionamiento de los equipos. Son

gastos que gravarán la tonelada transportada en función del tiempo que dure durante la instalación y permanencia del sistema (15%).

2. Espacio que ocupa el diseño en el área teniendo en cuenta la distribución de planta en el lugar (5%).
3. Ambiente de trabajo que incluye condiciones ambientales de trabajo, permanencia en el lugar: ocasional o permanente, presencia de altas temperaturas, ruido y polvo suspendido, creándose de este modo un ambiente agradable y confortable para el propio desarrollo de las actividades laborales, reducción del ausentismo de los trabajadores así como la rotación de los mismos, mejorando la moral y productividad (10%).
4. Porcentaje de desperdicio que incluye la reducción de producto generado durante las actividades productivas para aumentar el rendimiento de la planta y contribuir con un ambiente de trabajo seguro (15%).
5. Mejora ambiental que representa aquellas estrategias de prevención de la contaminación en su origen minimizando la cantidad de polvo generado y descargado al ambiente, así como el riesgo para las personas que hacen vida alrededor de la zona productiva (35%),
6. Mantenimiento de equipos que incluye lubricación y sustitución de piezas defectuosas debido al desgaste de las mismas, reducción de mantenimiento de los equipos capturando el polvo (10%).
7. Limpieza de equipos que representa la frecuencia y facilidad con que se limpia el sistema y garantizar el control de la limpieza del área y equipos (10%).

La ponderación cualitativa para cada parámetro seleccionado en el análisis de la matriz de selección del criterio en evaluación, se redujo a una escala del 1 al 5 que se definió como sigue:

1: malo; 2: regular; 3: bueno; 4: muy bueno; 5: excelente

Mientras que en la ponderación cuantitativa, se establecieron los valores para cada parámetro en porcentaje de peso del parámetro (*VALOR DEL CRITERIO (%)*), El total de la evaluación del parámetro para cada alternativa, se definió como:

$$T = P \times \text{VALOR DEL CRITERIO}(\%) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde P es el valor de la ponderación en la escala cualitativa para cada alternativa dependiendo de las características a analizar y se le asignó un porcentaje de ponderación a los criterios para cada alternativa propuesta, elaborando una matriz para comparar las alternativas consideradas (ver tabla 14).

Se obtuvo que la mejor alternativa para el diseño del sistema para minimización de polvos en el área de molino fue la de colocación de un sistema combinado de ciclón-filtro-tornillo sinfín para el llenado y transporte en los silos justo al inicio de la corriente de alimentación de los silos de harina terminada.

TABLA 13. Ventajas y desventajas de cada alternativa propuesta para la minimización de polvos

Alternativa	Ventajas	Desventajas
A1	Permitiría una mejor ubicación de un equipo de filtro para asegurar un desarrollo limpio del transporte del producto.	El llenado de los silos no sería correcto y uniforme por ser éste en ángulo y no en forma cónica, limitando así su descarga y limpieza, en vista de que el producto se pegaría más a las paredes.
A2	Disminución de polvo suspendido en el ambiente y alrededores.	Gran aumento en costos de equipos y mano de obra para su montaje y se mantiene la alimentación principal con las mismas características actuales. El porcentaje de desperdicio es bajo mientras se mantengan operativos los equipos y no existan fugas importantes.
A3	Garantiza un sistema un transporte limpio y sin contaminación.	Aumento en costos de operación, equipos y mantenimiento, además de aumentar la frecuencia de limpieza de cada equipo y área. El porcentaje de desperdicio es relativamente bajo.
A4	Disminuye el número de equipos conectados y elimina los filtros de manga conectados actualmente; mejora el modo de	El sistema combinado debe tener un tornillo sinfín pequeño para realizar el transporte de producto en todos los silos presentes.

	<p>alimentación de los silos de harina y disminuye la frecuencia y equipos de limpieza, si como los costos de mantenimiento por una disminución de equipos. Bajos costos de capital; falta de partes móviles, por lo tanto, pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación.</p>	
A5	<p>Se reporta que el dispositivo tiene requisitos de energía bajos y ninguna parte movable, desgastable o reemplazable, además que es capaz de remover casi el 100 por ciento de la materia particulada, incluyendo materia biológica tal como virus, tan pequeña como 0.005 :m.</p>	<p>Aumento en costos de instalación y operación, y solamente se pueden tratar cantidades pequeñas de gas de hasta 5000 pies cúbicos estándares por minuto. La limpieza del equipo involucrado debe realizarse con personal calificado para evitar problemas eléctricos.</p>

TABLA 14. Selección de la alternativa más adecuada para la minimización de polvos

CRITERIO DE EVALUCION	VALOR DEL CRITERIO (%)	EVALUACION DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS (PONDERACIÓN x PORCENTAJE)									
		A1		A2		A3		A4		A5	
		P	T	P	T	P	T	P	T	P	T
Costos de operación	15	2	0,3	3	0,45	1	0,15	4	0,6	1	0,15
Espacio que ocupa el diseño	5	2	0,1	3	0,15	1	0,05	3	0,15	1	0,05
Ambiente de trabajo	10	1	0,1	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Porcentaje de desperdicio	15	1	0,15	2	0,3	2	0,3	4	0,6	4	0,6
Mejora ambiental	35	2	0,7	3	1,05	3	1,05	4	1,4	4	1,4
Mantenimiento de equipos	10	2	0,2	2	0,2	1	0,1	3	0,3	4	0,4
Limpieza de equipos	10	1	0,1	2	0,2	1	0,1	3	0,3	1	0,1
TOTAL	100		1,65		2,65		2,05		3,65		3,00

IV.4 Diseño del sistema para minimización de polvos en la actividad de llenado de los silos de harina de maíz terminada en el área de molino con la alternativa seleccionada.

Según la alternativa de colocación de un sistema combinado de ciclón-filtro-tornillo sinfín para el llenado y transporte en los silos justo al inicio de la corriente de entrada de la línea de alimentación de los silos de harina terminada, se estableció el diagrama de flujo en donde se muestran los equipos involucrados.

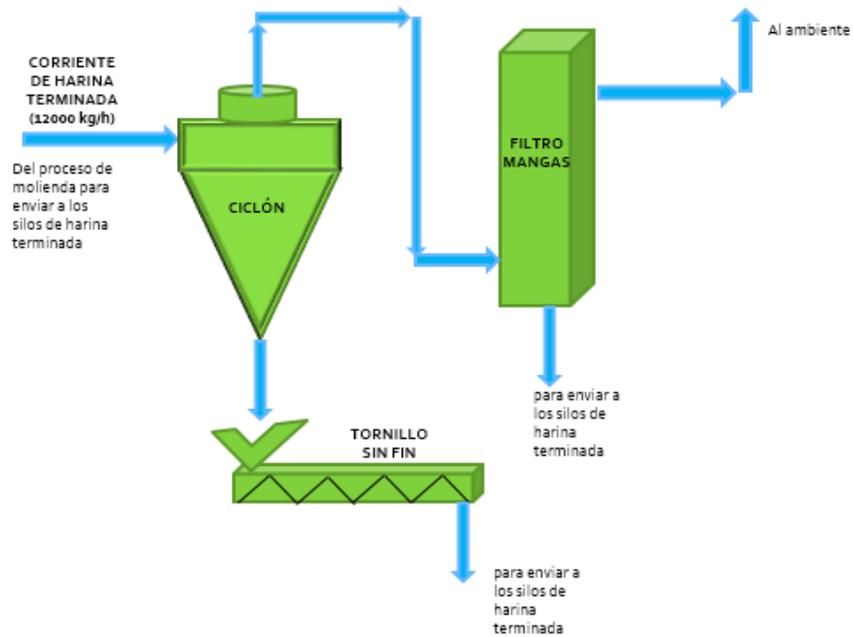


Figura 7. Diagrama de flujo de la alternativa seleccionada A4

Tabla 15. Condiciones iniciales para el diseño propuesto

Condición a utilizar	Valor/ suposiciones
Flujo de alimentación (F_a)	12000 kg/h
Densidad de material (ρ_s)	0,530-0,590 kg/m ³
Presión operación del sistema (P_{op})	30kPa / 0,2 bar
Temperatura flujo de alimentación (T_a)	42 - 43 °C
Temperatura de referencia (T_{ref})	1 K = 298 °C
Velocidad de transporte o alimentación (v_a)	Para evitar segregación o abrasión en los ductos, la velocidad debe ser 18 m/s.
Velocidad de captura (v_c)	0,5 - 1,0 m/s
Distribución de partícula (μ_m)	Ver tabla 16
Diámetro tubería de alimentación (D_a)	300 mm
Relación aire/harina (R)	Máx 10 (adimensional)
Densidad del aire a T_a (ρ_a)	0,3327 kg/m ³
Viscosidad del aire a T_a y P_{op} (ρ_a)	0,00001918 kg/m.s
Gravedad (g)	9,8 m/s
Peso específico (Υ_h)	0.578 kg/m ³
Factor número de giros en el ciclón (K)	8 (adimensional)
Concentración de partículas en el ambiente (C_p)	5,94

Concentración final de partículas a la salida del diseño (C_f)	3 ppm
Material de fabricación de mangas para el filtro	Algodón

Tabla 16. Granulometría de la harina terminada*

Rango de granulometría (μm)	Tamiz (μm)	Limite inferior (μm)	Limite superior (μm)	% másico
700-900	850	0,10	0,50	0,27
450-700	600	2,46	5,36	3,52
300-450	425	21,82	29,70	28,22
200-300	250	38,10	48,13	46,22
100-200	180	8,94	12,85	11,37
0-100	P-100	8,58	10,64	9,39

*Base de análisis: 100 g de muestra

IV.4.1 Descripción del proceso

La corriente de harina de maíz terminada F_a , que transporta harina de maíz en fase diluida producto de la molienda de hojuela de maíz, y está ubicada en la entrada del sistema de llenado de los silos de harina terminada, corresponde con la corriente de alimentación del ciclón C1, que se está proponiendo diseñar. Esta corriente se asume

disponible a 43 °C y 0,2 bar y pasa por. Este equipo tiene como finalidad separar dos corrientes de producto, la primera corriente F_1 , que corresponde el polvo y otras partículas separado a través de fuerza centrífuga y sale por la parte superior del equipo y la segunda corriente F_3 , que corresponde a la harina de maíz terminada que cae por gravedad de la corriente de alimentación y es transportada por un tornillo sinfín, SF1 a los silos de harina terminada en la corriente F_4 .

La corriente F_1 de polvo es transportada hasta un filtro mangas FM1, cuya función es terminar de filtrar el aire que viene cargado de partículas finas de dicha corriente. Esta corriente que también es igual a F_2 , se reparte sobre toda la superficie de las mangas filtrantes, atravesándolas desde el exterior hacia el interior. El gas, una vez filtrado y limpio, se concentra en el cajón de salida situado en la parte superior del filtro y es conducido hacia el exterior en la corriente F_6 . El polvo, desprendido de la superficie filtrante, baja por gravedad en la corriente F_5 , conduciéndose también a los silos de harina terminada.

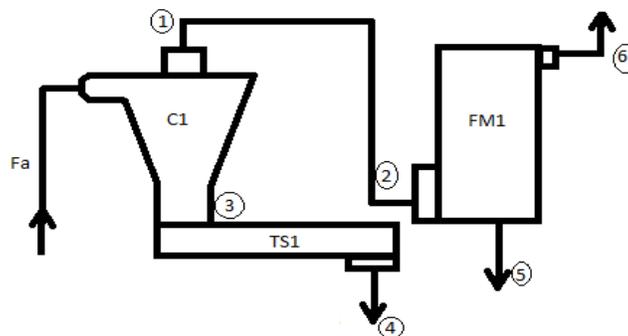


Figura 8. Sistema de minimización de polvos planteado

IV.4.2 Modelos matemáticos para el diseño de la propuesta

Flujo de salida del ciclón, F3:

Sean F_a a F_6 , los flujos másicos del sistema según los puntos de la figura 6 y y_a a y_6 las fracciones másicas en el sistema.

Balance global de masa en el ciclón:

$$F_a = F_1 + F_3 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Balance de finos en el ciclón:

$$y_a F_a = y_1 F_1 + y_3 F_3 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Pero como $y_3 \rightarrow 0$; $y_1 \rightarrow 1$ entonces:

$$y_a F_a = F_1 \quad (\text{Ecuación 6})$$

Área de tubería de entrada al ciclón, A_t :

$$A_t = \frac{\pi D_t^2}{4} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Densidad del aire, ρ_a :

$$\rho_a = \frac{P_a(y_{N_2} M_{N_2} + y_{O_2} M_{O_2})}{RT_a} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Caudal del aire a la entrada del ciclón, Q_a

$$Q_a = A_t v_a \quad (\text{Ecuación 9})$$

ECUACIONES DE DISEÑO PARA UN CICLÓN

Para el diseño del ciclón se consideraron los cálculos del trabajo de Echeverri (2006), tomando como modelo un ciclón tipo Stairmand de alta capacidad (ver figura 7).

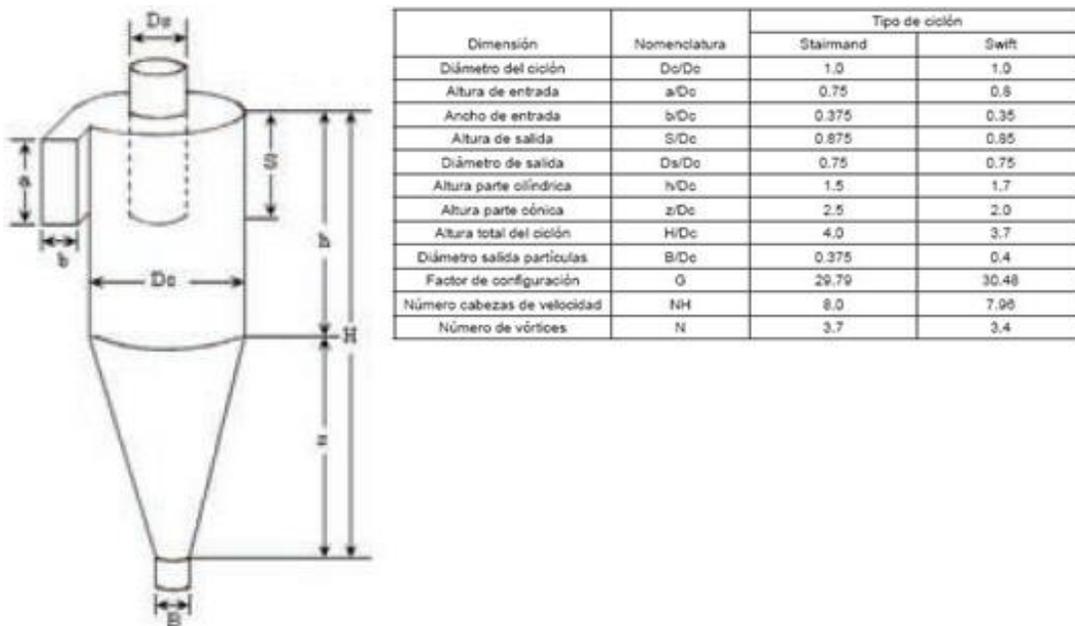


Figura 9. Dimensiones del tipo de ciclón de alta capacidad

Diámetro del ciclón, D_c :

$$D_c = \sqrt{\frac{A_t}{a \cdot b}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

De acuerdo a la figura 2, se realiza el dimensionamiento del ciclón tipo Stairmand:

Altura de entrada, a:

$$a = 0,75 D_c \quad (\text{Ecuación 11})$$

Ancho de entrada, b:

$$b = 0,375 D_c \quad (\text{Ecuación 12})$$

Altura de salida, S:

$$S = 0,875 D_c \quad (\text{Ecuación 13})$$

Diámetro de salida, D_s:

$$D_s = 0,75 D_c \quad (\text{Ecuación 14})$$

Altura parte cilíndrica, h:

$$h = 1,5 D_c \quad (\text{Ecuación 15})$$

Altura parte cónica, z:

$$z = 2,5 D_c \quad (\text{Ecuación 16})$$

Altura total del ciclón, H:

$$H = 4,0 D_c \quad (\text{Ecuación 17})$$

Diámetro salida de partículas, B:

$$B = 0,375 D_c \quad (\text{Ecuación 18})$$

Velocidad equivalente en el ciclón, W:

$$W = \sqrt[3]{\frac{4g\mu_a(\rho_h - \rho_a)}{3\rho_a^2}} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Velocidad de saltación, v_s:

$$v_s = \frac{4,913W\left(\frac{b}{D_c}\right)^{0,4} D_c^{0,0673} \sqrt{v_e^2}}{\sqrt[3]{1 - \left(\frac{b}{D_c}\right)}} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Relación de velocidades, v_e/v_s:

$$\frac{v_e}{v_s} < 1,35 \quad (\text{Ecuación 21})$$

Volumen del ciclón evaluado sobre la salida, v_{sc}:

$$v_{sc} = \frac{\pi}{4} \left(S - \frac{a}{2} \right) (D_c^2 - D_s^2) \quad (\text{Ecuación 22})$$

Longitud natural del ciclón, L:

$$L = 2,3D_s \sqrt[3]{\frac{D_c^2}{a \cdot b}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Factor de dimensiones lineales, k_L:

$$k_L = D_c - (D_c - B) \left[\frac{S+L-h}{z} \right] \quad (\text{Ecuación 24})$$

Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural del ciclón, v_r :

$$v_r = \frac{\pi}{4} D_c^2 (h - S) + \frac{\pi}{12} D_c^2 (L + S - h) \left[1 + \frac{k_L}{D_c} + \left(\frac{k_L}{D_c} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} D_S^2 L \quad (\text{Ecuación 25})$$

Factor de dimensiones volumétricas, k_c :

$$k_c = \frac{(v_{sc} + v_r)}{D_c^3} \quad (\text{Ecuación 26})$$

Relación altura de entrada/diámetro del ciclón, K_a :

$$K_a = \frac{a}{D_c} \quad (\text{Ecuación 27})$$

Relación ancho de entrada/diámetro del ciclón, K_b :

$$K_b = \frac{b}{D_c} \quad (\text{Ecuación 28})$$

Factor de configuración, G :

$$G = \frac{8k_c}{(K_a + K_b)^2} \quad (\text{Ecuación 29})$$

Exponente de vórtice, n :

$$n = 1 - (1 - 0,67 D_c^{0,14}) \left(\frac{T_a}{283} \right)^{0,3} \quad (\text{Ecuación 30})$$

Tiempos de relajación por intervalos de tamaño, T_i :

$$Ti = \frac{\rho_h D p_i^2}{18 \mu_a} \quad (\text{Ecuación 31})$$

Eficiencia fraccional por intervalos de tiempo, δ_i :

$$\delta_i = 1 - e^{\left\{ -2 \left[\frac{GT_i Q_a (n+1)}{Dc^3} \right]^{\left(\frac{0.5}{n+1} \right)} \right\}} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Eficiencia global, δ_T :

$$\delta_t = \sum \delta_i \cdot m_i \quad (\text{Ecuación 33})$$

Número de cabezas de velocidad, N_H :

$$N_H = k \frac{a \cdot b}{D_s^2} \quad (\text{Ecuación 34})$$

Caída de presión en función a la velocidad de entrada, $\Delta P_{\text{ciclón}}$:

$$\Delta P_{\text{ciclón}} = \frac{1}{2} N_H \rho_a v_a^2 \quad (\text{Ecuación 35})$$

Área transversal a la salida del ciclón, A_{sc} :

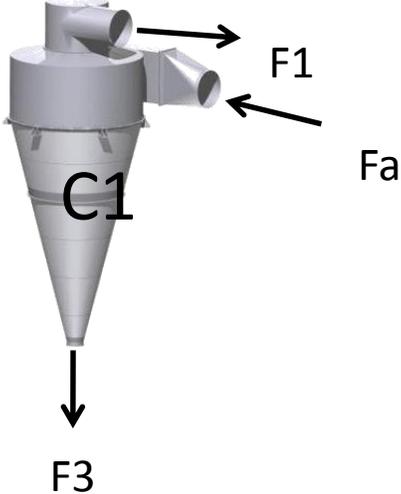
$$A_{sc} = \frac{\pi}{4} D_s^2 \quad (\text{Ecuación 36})$$

Velocidad de salida del ciclón, v_s :

$$v_{sc} = \frac{F_1}{A_{sc} \rho_a} \quad (\text{Ecuación 37})$$

Caudal del aire a la salida del ciclón, Q_1 :

$$Q_1 = A_{sc} v_{sc} \quad (\text{Ecuación 38})$$

CICLÓN	
IDENTIFICACIÓN Ciclón C1	
NÚMERO DE UNIDADES 1	
FUNCIÓN Separar polvo y otras partículas a través de fuerza centrífuga y por gravedad de la corriente de alimentación de harina terminada.	
CAPACIDAD Eficiencia global: 94,55 %	
DIMENSIONES Altura: 2,00 m Diámetro: 0,50 m	
CONDICIONES DEL PROCESO Flujo másico: 12000 kg/h Presión de operación: 0,2 bar Temperatura de operación: 43 °C	
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Material de construcción: hierro galvanizado.	

ECUACIONES DE DISEÑO PARA UN FILTRO MANGAS

Para el diseño del filtro de mangas se consideraron los cálculos del trabajo de Echeverri (2008) y los datos técnicos de su estudio.

Tabla 17. Velocidad de filtración para algunas combinaciones de filtros para harina

PARTÍCULAS	VELOCIDAD DE FILTRACIÓN (M/S)	
	Agitación/Contracorriente (tela tejida)	Aire a presión (fieltro)
Harina	0.015	0.061

Fuente: Echeverri (2008).

Tabla 18. Guía para estimar el área total de tela para filtros que utilizan limpieza por agitación o aire en contracorriente

ÁREA DE TELA NETA (m ²)	MULTIPLICAR EL ÁREA NETA POR
1 – 370	2
371 – 1,115	1.5
1,116 – 2,230	1.25
2,231 – 3,350	1.17
3,351 – 4,460	1.125
4,461 – 5,580	1.11
5,581 – 6,690	1.10
6,691 – 7,810	1.09
7,811 – 8,920	1.08
8,921 – 10,040	1.07
10,041 – 12,270	1.06
12,271 – 16,730	1.05
> 16,730	1.04

Fuente: Echeverri (2008).

Tabla 19. Selección del filtro de tela

Fibra	Nombre genérico	Propiedades de la Fibra					Temperatura °F	
		Resistencia tracción	Resistencia abrasión	Resistencia química		resistencia combustión	continuo	Sobre tensiones
				Ácidos	Álcalis			
Algodón	Celulosa fibra natural	Buena	Media	Mala	excelente	Si	180	225
Polipropileno	Propileno	Excelente	Buena	Excelente	excelente	SI	190	190
Vidrio	Vidrio	Excelente	Mala	Buena	Mala	No	500	550
Nylon	Poliamida	Excelente	Excelente	Mala	excelente	Si	200	250
Dacron	Poliéster	Excelente	Excelente	Buena	Justo	Si	275	325
Orlón	Acrílico	Media	Media	Muy Bueno	Justo	Si	240	260
Microtaia	Acrílico	Media	Media	Muy Bueno	Justo	Si	250	280
Lana	Proteína fibra natural	Mala	Media	Justo	Mala	No	200	250
Nomex	Poliamidas aromáticas	Muy Bueno	Muy Bueno	Justo	Muy Bueno	No	400	425
Teflón	Fluorocarbono	Justo	Mala	Excelente	excelente	No	450	500

Fuente: Buitrago (2012)

Tabla 20. Factores de resistencia para telas de tejido plano

TELA	TEJIDO (HILOS/CM)	K_1 (mm H ₂ O . s/m)
Algodón	18 × 22	125.0
	41 × 27	138.9
Lana	16 × 20	29.8
	14 × 13	13.5
	11 × 12	22.7
	12 × 10	45.5
Nylon	15 × 15	156.3
Orlón	29 × 15	67.6
Fibra de vidrio	13 × 11	147.1
Dacrón	24 × 16	75.8
	30 × 19	263.2
Teflón	30 × 28	125.0

Fuente: Echeverri (2008).

Tabla 21. Factor para calcular la superficie de tela en grueso a partir del área neta de tela

FACTOR DE MULTIPLICACION		
Superficie Neta de Tela		Para obtener la superficie de tela en grueso:
[pies cuadrados]	[metros cuadrados]	[pies o metros cuadrados]
1 - 4,000	0.09 - 371.61	Multiplicar por 2.00
4,001 - 12,000	371.71 - 1,114.84	Multiplicar por 1.50
12,001 - 24,000	1,114.93 - 2,229.67	Multiplicar por 1.25
24,001 - 36,000	2,229.77 - 3,344.51	Multiplicar por 1.17
36,001 - 48,000	3,344.60 - 4,459.35	Multiplicar por 1.13
48,001 - 60,000	4,459.44 - 5,574.18	Multiplicar por 1.11
60,001 - 72,000	5,574.28 - 6,689.02	Multiplicar por 1.10
72,001 - 84,000	6,689.11 - 7,803.86	Multiplicar por 1.09
84,001 - 96,000	7,803.95 - 8,918.69	Multiplicar por 1.08
96,001 - 108,000	8,918.78 - 10,033.53	Multiplicar por 1.07
108,001 - 132,000	10,033.62 - 12,263.20	Multiplicar por 1.06
132,001 - 180,000	12,263.29 - 16,722.55	Multiplicar por 1.05
más de 180,001	más de 16,722.64	Multiplicar por 1.04

Fuente: Fernández (2008)

Concentración de partículas en suspensión a la entrada del filtro, C_{ps} :

$$C_{ps} = \frac{y_1 F_1}{v_{sc} A_{sc}} \quad (\text{Ecuación 39})$$

Área de filtración, A_f :

$$A_f = \frac{v_{sc} A_{sc}}{v_f} \quad (\text{Ecuación 40})$$

Área total de filtración, A_{Tot} :

$$A_{Tot} = Af \cdot F' \quad (\text{Ecuación 41})$$

Donde F' es el factor de diseño multiplicador de la tabla 21.

Área de filtración de una manga, A_m :

$$A_m = \pi D_m L_m + \frac{\pi D_m^2}{4} \quad (\text{Ecuación 42})$$

Número total de mangas, n_m :

$$n_m = \frac{A_{Tot}}{A_m} \quad (\text{Ecuación 43})$$

Se recalcula el área de filtración de una manga con la ecuación 43, en caso de que los valores obtenidos no estén dentro de catálogos comerciales. Luego se despeja de la ecuación 42 el diámetro de manga y luego con la ecuación 40, la ecuación 41 y el factor multiplicador de la tabla 21 y se calcula el valor de la velocidad de filtración.

Caída de presión a través de la tela, ΔP_m :

$$\Delta P_m = K_1 v_f \quad (\text{Ecuación 44})$$

Se ubican en las tablas 19 y 20 el valor de resistencia para telas de tejido plano,

K_1

Caída de presión por las partículas, ΔP_p :

$$\Delta P_p = K_2 C_{ps} v_f^2 \phi \quad (\text{Ecuación 45})$$

Caída de presión a través del filtro, ΔP_f :

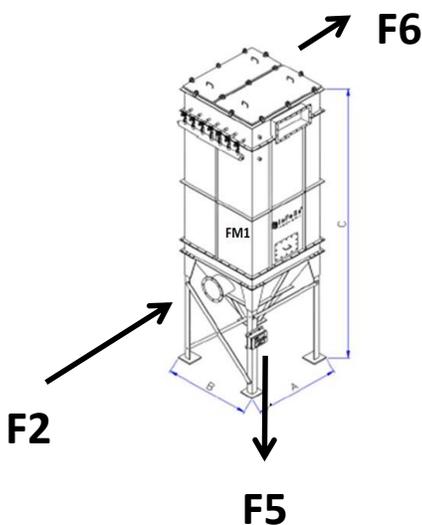
$$\Delta P_f = \Delta P_m + \Delta P_p \quad (\text{Ecuación 46})$$

Concentración de partículas en la corriente gaseosa a condiciones de referencia, C_p :

$$C_p = \frac{C_{ps} T_a}{T_{ref}} \quad (\text{Ecuación 47})$$

Eficiencia de colección, δ_f :

$$\delta_f = \frac{C_p - C_{p_{norma}}}{C_p} * 100 \quad (\text{Ecuación 48})$$

FILTRO MANGAS	
IDENTIFICACIÓN FILTRO MANGAS FM1	
NÚMERO DE UNIDADES 1	
FUNCIÓN Separar polvo y otras partículas a través la filtración de la corriente de salida del ciclón F ₂ .	
CAPACIDAD Superficie filtrante (m ²): 79 Área de filtración (m ²): 95,15	
DIMENSIONES Altura (C): 5,60 m Ancho (B): 1,92 m Largo (A): 1,92 m Dimensiones de las mangas: D _m = 0,120 m; L _m = 2,4 m	
CONDICIONES DEL PROCESO Flujo másico: 5137,92 m ³ /h Rango de caudal de aire (m ³ /min): 79 - 237 Depresión máxima del filtro: 500 mm H ₂ O	
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Material de construcción: acero inoxidable. Numero de mangas: 90 Numero de compartimientos: 2	

ECUACIONES DE DISEÑO PARA UN TORNILLO SINFIN

Se toma como referencia el trabajo de la Universidad Carlos III de Madrid (2008) y el de Arias (2011). Para este caso se asume un tornillo sinfin de hélice continua tipo A de acero inoxidable. Se considera un material homogéneo, tiene ángulo de inclinación cero grados, el tipo de carga es pesada y abrasiva (ver tabla 22).

Paso del tornillo, t :

Considerando que el material transportado es granular, además de asumir que el diámetro del tornillo d_{To} es igual al paso de tornillo t entre 0,5; se toma de tabla 22:

$$t = \sqrt[3]{\frac{6F_3}{360n\lambda\pi\gamma_h k}} \quad (\text{Ecuación 49})$$

Diámetro del tornillo, d_{To} :

$$d_{To} = \frac{t}{0,5} \quad (\text{Ecuación 50})$$

Profundidad de rosca, h' :

$$h' = 0,6866t \quad (\text{Ecuación 51})$$

Tabla 22. Factores para dimensionar un tornillo sin fin

COEFICIENTE DE RELLENO DE LA SECCIÓN					
Tipo de carga					λ
Pesada y abrasiva					0,125
Pesada poco abrasiva					0,25
Ligera poco abrasiva					0,32
Ligera no abrasiva					0,40
COEFICIENTE DE DISMINUCIÓN DEL FLUJO DE MATERIAL					
Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
k	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
VELOCIDADES DE TORNILLO					
Materiales pesados				n	50 rpm
Materiales ligeros				n	<150 rpm
COEFICIENTE DE RESISTENCIA DEL MATERIAL					
Material					C_o empírico
Harina, serrín, productos granulosos					1,2
Turba, sosa, polvo de carbón					1,6
Antracita, carbón, sal de roca					2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena					4,0

Fuente: Universidad Carlos III de Madrid (2008)

Diámetro de fondo, d_f :

$$d_f = d_{To} - 2h' \quad (\text{Ecuación 52})$$

Angulo de hélice, Ω : de Alvarado (2007) se tiene que:

$$\Omega = 180 - \left(90 + \tan^{-1} \frac{1}{\pi d_f} \right) \quad (\text{Ecuación 53})$$

Longitud del tornillo, L_{To} :

$$L_{To} = (0,02N_e + 4,5)t \quad (\text{Ecuación 54})$$

Velocidad de desplazamiento del transportador, v_{sf} :

$$v_{sf} = \frac{tn}{60} \quad (\text{Ecuación 55})$$

Potencia para desplazamiento horizontal, P_H :

$$P_H = \frac{C_o F_3 L}{367} \quad (\text{Ecuación 56})$$

Potencia de accionamiento del tornillo en vacío, P_N :

$$P_N = \frac{DL}{20} \quad (\text{Ecuación 57})$$

Potencia de accionamiento del tornillo sin fin inclinado, P_{St} :

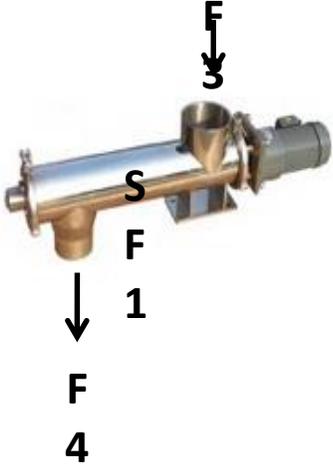
Como el tornillo sin fin presenta un ángulo de inclinación de cero grados, entonces esta variable es igual a cero.

Potencia total, P_{Tot} :

$$P_{Tot} = P_H + P_N + P_{St} \quad (\text{Ecuación 58})$$

Potencia del motor eléctrico, P_m :

$$P_m = \frac{P_N}{\eta_g} \quad (\text{Ecuación 59})$$

TORNILLO SIN FIN	
IDENTIFICACIÓN TORNILLO SIN FIN SF1	
NÚMERO DE UNIDADES 1	
FUNCIÓN Transportar la harina terminada de la corriente de salida del ciclón a los silos de harina terminada.	
CAPACIDAD De operación: 19,4 m ³	
DIMENSIONES Longitud del tornillo: 0,4213 m Diámetro del tornillo: 0,200 m Ángulo de inclinación: cero grados	
CONDICIONES DEL PROCESO Material transportado: granular Flujo másico: 10873,20 kg/h Velocidad del tornillo: 100 rpm Presión de operación: 30kPa.	
CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Material de construcción: acero inoxidable. Paso del tornillo: 0,200 m Potencia total: 0,0162 kW	

Dimensionamiento del tamaño del ducto, D_d : según lo revisado en la literatura, Mott (1996) indica:

$$D_d = \sqrt{\frac{4A_{sc}}{\pi}} \quad (\text{Ecuación 60})$$

Número de Reynolds, Re :

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (\text{Ecuación 61})$$

Donde

ρ = densidad (kg/ m³)

D = diámetro ID, (m)

v = velocidad de flujo (m / s)

μ = viscosidad (kg / m-s)

Con el valor del número de Reynolds y el valor de la rugosidad relativa de tubería, ϵ/d se ubica el valor del factor de fricción para la tubería comercial.

Presión dinámica en el ducto, ΔP_d :

$$\Delta P_d = \left(\frac{v_a^2}{4005} \right) \quad (\text{Ecuación 62})$$

Presión estática en el ducto, SP_d :

$$SP_d = \Delta P_d + \sum k_f * \Delta P_d \quad (\text{Ecuación 63})$$

Presión total a lo largo de la red de tuberías. ΔP :

$$\Delta P = SP_{salida} - SP_{entrada} \quad (\text{Ecuación 64})$$

Perdidas de fricción por longitud de tubería, H_f

$$H_f = k_f * \Delta P_d \quad (\text{Ecuación 65})$$

Pérdidas debido a resistencias por el movimiento de la corriente de aire,

h_d :

$$h_d = \frac{\gamma * v^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 66})$$

Perdidas por ingreso al circuito, h_{ia}

$$h_{ia} = 2h_d \quad (\text{Ecuación 67})$$

Selección del tipo de ventilador óptimo para el sistema de transporte de harina de maíz

En este caso se tomará en consideración un ventilador centrífugo radial con álabes rectos debido a que en este tipo de ventiladores las partículas no se acumulan en los álabes y a la vez direcciona el flujo hacia arriba que es lo que se necesita para el ingreso del ciclón. Los parámetros usados para su selección fueron: la variación de

presión total del ciclón ($\Delta P_{ciclón}$) y el caudal (Q_1).

Se seleccionó un ventilador fabricado por la empresa Euroventilatori Internacional que cumple perfectamente con las características del sistema, ya que permite la aspiración de aire muy polvoriento y es empleado en las industrias en donde se necesiten pequeños caudales de media y alta presión. De esta manera se seleccionó un ventilador modelo CX 5500 de la serie APE tipo 711/A de 5,5 kW. Los catálogos empleados se encuentran en el Apéndice A.2.1.

Presión estática del ventilador, ΔP_{sp} :

$$\Delta P_{sp} = SP_{salida} - SP_{entrada} - \Delta P_d \quad (\text{Ecuación 68})$$

Se encontró que para un flujo de alimentación de harina de 12000 kg/h, se logró minimizar la concentración de polvos en el ambiente en un 98,32 %, siendo de este modo una alternativa recomendada para la reducción de contaminante de polvos para este proceso.

Por otro lado, se encontró que según las ecuaciones y cálculos efectuados para el diseño de los equipos del sistema, permitió que la propuesta planteada para reducir la minimización de polvos en el sistema es factible por la ventaja que ofrece los equipos que se están colocando en el área y que no ocupan mucho espacio en el sitio, aún más

si satisface la reducción de contaminación ambiental por parte de la empresa y la afectación inmediata que en estos momentos se está viendo en la vegetación aledaña a planta y el impacto a futuro sobre la población vecina a planta.

IV.5 Estimación de costos del diseño propuesto

Para este particular, se realizó el estimado de costos una vez determinados todos los parámetros de diseño concernientes al proyecto, en donde se estimaron los costos por requisición de nuevos equipos y accesorios mediante el método de índice de costos, en vista de que se hizo la solicitud de cotización de los equipos y en el mercado no había disponibilidad para el momento.

Costos para ciclones

$$CE = 57800(ab)^{0,903} \quad (\text{Ecuación 69})$$

Donde:

CE = Costos del ciclón completo, US\$ (1995).

a, b = Alto y ancho de la entrada al ciclón, siempre que $0,02 \text{ m}^2 < a*b < 0.4 \text{ m}^2$

Precio actual del equipo

Tomando en cuenta el apéndice A.7.1, A.7.2, A.8 y A.9:

$$CE_{actual} = CE * \frac{I_{actual}}{I_{CE}} \quad (\text{Ecuación 70})$$

$$CE_{VENTILADOR} = \text{Costo base} * F_d \quad (\text{Ecuación 71})$$

Se encontró que para el diseño propuesto los valores de los equipos en total son de 44215,89 \$, en cuyo caso por equipo es:

Ciclón	23284,46 \$
Filtro mangas	14600,99 \$
Tornillo sin fin	5200 \$
Ventilador centrifugo	1130,44 \$

Al realizar este diseño y lograr su instalación y uso, se estima que la reducción de partículas en el ambiente será:

$$5,94 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} - (5,94 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * 98,32\%) = 0,099 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

¡Se cumple con el límite de emisión y se reduce la concentración de polvos!

Mientras que la cantidad de recuperación de la harina no utilizada (producto de limpieza y fugas al ambiente) y que posiblemente pudiese enviarse al sistema de los silos de harina terminada es:

$$1500 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} * 94.55\% = 1418.25 \frac{\text{kg}}{\text{dia}}$$

CONCLUSIONES

1. Se logró realizar el diseño de un sistema para la minimización de polvos en los silos de harina de maíz terminada en el área de molino de DEMASECA, tomando en cuenta el uso de equipos para la captura de polvos, a fin de garantizar un desarrollo sostenible y beneficiando así a la comunidad circundante que hace vida en la región de manera responsable con el ambiente.

2. Se logró hacer el diagnóstico las condiciones actuales de trabajo y operación en el área de molino, dándosele gran énfasis a tomar acciones para la corrección de las causas encontradas y al desarrollo de la alternativa seleccionada para minimizar el impacto que ocasiona el polvo descargado al ambiente aledaña a planta bajo el enfoque de proyecto de mejora continua en la empresa que apoyara además el aprovechamiento de la harina que se estaba clasificando como harinilla o desperdicio.

3. Se obtuvo que la mejor alternativa para el diseño del sistema para minimización de polvos en el área de molino fue la de colocación de un sistema combinado de ciclón-filtro-tornillo sinfín para el llenado y transporte en los silos al inicio de la alimentación del sistema de llenado de los silos de harina terminada.

4. La disminución de la concentración de polvos en el ambiente fue de 98,32% para un flujo de alimentación de harina de 12000 kg/h (capacidad al momento

considerada en vista de que se sacaron de servicio dos silos de harina terminada por mantenimiento), siendo de este modo una alternativa recomendada para la reducción de contaminante de polvos para este proceso.

5. La propuesta seleccionada resulta atractiva al plantearla bajo la importancia de cuidar el ambiente y de la responsabilidad como industria de mantener la sostenibilidad del entorno, buscando así el equilibrio entre eficiencia, exigencias sociales y naturaleza, además de estar dentro de lineamiento de los parámetros establecidos por el decreto 638 y apoyar a la Ley de las aguas y el aire en la consideración de tecnologías limpias que auspicien actividades industriales con una reducción en el impacto que éstas puedan ocasionar al ambiente y su entorno.

RECOMENDACIONES

1. Fomentar la implicación del personal a desarrollar practicas respetuosas con el medio ambiente en sus puestos de trabajo (cuidado del material, agua, energía, cierre de compuertas de inspección) y minimización en la generación de residuos durante sus labores rutinarias.

2. Realizar una evaluación diagnostico de las concentraciones de polvo ambiental luego de instalado el sistema de minimización para verificar la efectividad de la propuesta planteada.

3. Hacer énfasis en la necesidad de buscar nuevas tecnologías limpias que apoyen la producción de alimentos de consumo masivo con una nueva conciencia ambientalista y como una forma de retribución de la industria a la naturaleza y a las comunidades que hacen vida alrededor de sus instalaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarado, O. (2007). **Desarrollo de un sistema mecánico de flujo continuo de harina de maíz**. Instituto Politécnico Nacional. Facultad De Tecnología avanzada. Trabajo especial de grado de maestría. Santiago de Querétaro.

Buitrago, J. (2012). **Diseño de un sistema de reinserción de los finos del colector de polvo al proceso productivo de Hevensa**. Trabajo especial de pregrado. Universidad Nacional Experimental de Guayana. Ciudad Guayana.

Cajahuamán, M. (2014). **Diseño de un sistema de extracción de polvo para una cabina de granallado semiautomática en la empresa Prometal roca hermanos E.I.R.L.** Trabajo especial de grado Universidad Nacional Tecnológica del cono sur de LIMA. Lima.

Conde, A. P., Casals B., I. y Montes de Oca G., L. (2006). **Modelación de emisiones de partículas debidas al transporte de mineral en minas a cielo abierto**. ECOSOLAR, Volumen 17, Septiembre.

Comisión Nacional del medio ambiente de Chile. (2009). **Propuesta y Análisis de Medidas de Reducción de Emisiones en la Zona Industrial de Ventanas**. Ambiosis. Valparaiso.

Constitución De La República Bolivariana De Venezuela. **Gaceta Oficial N° 5.453 (Extraordinaria)** de fecha 24 de marzo del 2000.

Comisión de Normas Venezolanas. (2000). **Ventilación de los lugares de trabajo COVENIN 2250:2000**. 1° revisión.

Comisión de Normas Venezolanas. (2001). **Concentraciones ambientales permisibles de sustancias químicas en lugares de trabajo e índices biológicos de exposición COVENIN 2253:2001**. 3° revisión.

CRANE (s/f). **Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías**. Editorial Mc Graw-Hill. s/l

Davis, M. L. y Masten, S. J. (2005). **Ingeniería y ciencias ambientales**. Editorial Mc Graw-Hill. México.

De Nevers, Noel. (1999). **Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire**. (1ª. Impresión de la 1ª. ed. en español; Mc Graw-Hill Trad.) Editorial Mc Graw-Hill. México.

Díaz E. E.; Díaz, C. Flores, L. C. y Heyser S. (2009). **Estudio de la Variabilidad de Proceso en el Área de Envasado de un Producto en Polvo**. Información Tecnológica, Vol. 20(6), 105-113.

Echeverri Londoño, C.E. (2006). **Diseño óptimo de ciclones**. Revista Ingenierías, Universidad de Medellín. Volumen 5, N° 9, 123-139. Julio/Diciembre. Colombia.

Echeverri Londoño, C.E. (2008). **Diseño de filtros de talega**. Revista Ingenierías, Universidad de Medellín. Volumen 7, N° 12, 43-60. Enero/Junio. Colombia.

Elortegui, I. y Barbosa, M.R. (2013). **Diseño y optimización de un sistema ciclón-filtro para despolvado de ambientes industriales**. Trabajo especial de grado de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Perú.

Enger, E. D. y Smith, B. F. (2006). **Ciencia ambiental. Un estudio de interrelaciones**. Mc Graw-Hill. Edición 10ª. México.

Fernández Sandoval, E. G. (2008). **Mejoras en la eficiencia de los colectores de polvo tipo jet pulse y precipitador electrostático**. Trabajo especial de pregrado. Universidad de Piura, Perú.

Gómez, C. (2015). **Propuesta para el diseño de un sistema de aspiración de aserrín para la Cooperativa “La Luz” ubicada en Chivacoa Municipio Bruzual, estado Yaracuy**. Trabajo especial de pregrado. Universidad Fermín Toro. Cabudare.

González Cáceres, M. (2012). **Aspectos medio ambientales asociados a los procesos de la industria láctea**. Mundo Pecuario, VIII, N° 1, 16-32. Venezuela.

Guerra Muñoz, G.G. (2005). **Propuesta de sistemas de reducción de emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en una empresa fabricante de pinturas**. Trabajo especial de pregrado. Universidad Nacional Abierta. Aragua.

Montenegro Bahamon, M.A. (2011). **Automatización de maquina procesadora de harina de maíz y arroz en la industria agrícola**. Corporacion Universitaria Minuto de Dios. s/e. SOACHA, Colombia.

Mott, R. (1996). **Mecánica de fluidos aplicada**. Cuarta edición. Prentice Hall Hispanoamericana. México

Nightingale Noguera, J.E. (2010). **Diseño de un sistema de aspiración portátil de urea para las áreas de producción, transporte y almacenaje en el sector de granulación de la planta Fertinitro C.E.C.** Trabajo Especial de pregrado. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Barquisimeto.

Normas sobre la Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica. (Decreto 638, 1995). **Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela 4899 (Extraordinario)**, Abril 26, 1995.

Núñez, F. (1984). **Polvos y gases. Diseño de sistemas de aspiración**. UNIMET, s/e. Valencia. Venezuela.

Perry, Robert H y Green, Don W. (1999). Perry's **Chemical Engineer's Handbook on CD-ROM**. McGraw-Hill Companies, Inc. USA.

Parra, A. (2011). **Diseño de un sistema de ventilación para el área de molino de un central azucarero**. Trabajo Especial de pregrado. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Barquisimeto.

Piquer Pérez, E. E. (2007, Mayo). **Los industriales y el medio ambiente**. AVISA. Año 5 (5). 18-19.

Ramírez, F. (2009). **Diseño de un sistema de aspiración y recolección de cal en polvo para una empresa calera**. Trabajo Especial de pregrado. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Barquisimeto.

Rodríguez García, J.E.; Trotman Gavilán, J. A.; de la Fuente Fernández, M. y Mena Guzmán, R. (2008). **Contaminación atmosférica resultante del proceso productivo en el Centro de Investigaciones Siderúrgicas**. ECOSOLAR, Volumen 23 Enero-Marzo.

Sampieri, J. (1991). **Metodología de la investigación**. Editorial Mc Graw Hill. Edición 4ª. México.

Soto-Yarritu, G. R. y Martínez, A. A. (2000). **Simulación Numérica de Transporte de Material Granular por Vibración**. Anales de mecánica y electricidad. XIV Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. Vol. 2, pp. 1512-1517. Universidad Carlos III de Madrid, España.

Spiro, T. y Stigliani, W. M. (2004). **Química medioambiental**. Pearson-Educación. Edición 2ª. Madrid.

Torrez, F. (2008). **Diseño y cálculo de un filtro de mangas**. Universidad Mayor Real Y Pontificia De San Francisco Xavier De Chuquisaca. Facultad De Tecnología. Trabajo Especial de pregrado. Sucre, Bolivia.

Urzúa, C. (2003). **El Material Particulado – Que es eso?** Extractos de la 7a. Conferencia ETH en Combustión Generadora de Nanopartículas, Zurich Agosto. Rusia.

Woodard, K. (1998). **Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias**. Agencia de protección ambiental (EPA), USA.

En internet:

ARMATUREN (2013). **Glosario de términos de válvulas**. Disponible en http://www.comeval.es/formacion_glosario_2007.htm. [Consulta: 2013, Mayo 07].

COSMOPLAS (2017). **LISTA DE PRECIOS 2016-2017**. Documento en línea]. Disponible en: <http://www.cosmoplas.cl/wp-content/uploads/2017/02/cosmoplas-2016-2017.pdf>. [Consulta: 2017, Agosto 30].

HIDROMETALICA (2016). **Equipos normalizados – transportador sin fin**. Disponible en www.hidrometalica.com, [Consulta: 2015, Marzo 03].

INGEMECANICA (2016). **Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin**. Disponible en www.ingemecanica.com. [Consulta: 2016, Febrero 07].

Lara, M. (2010). **Estrategias para el control de la calidad del aire**. Disponible en <http://catmosferica1.wikispaces.com/Estrategias+para+el+control>. [Consulta: 2013, Mayo 07].

Martin Estévez, N. y col. (2000). **DEPURACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS INDUSTRIALES**. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro-13a.pdf>. [Consulta: 2012, Noviembre 07].

Organización Panamericana de Salud. (2007). **Medidas de mitigación**. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaiia/fulltext/basico/031171-13.pdf>. [Consulta: 2012, Noviembre 07].

Tematica.org. (2017). **Series de indicadores de coyuntura económica y síntesis de indicadores económicos**. [Documento en línea]. Disponible en:

<https://tematicas.org/comparador-estadisticas/75958-75968>. [Consulta: 2017, Agosto 2017].

Universidad Carlos III de Madrid (2015). **Tornillos sin fin**. Disponible en www.google.com. [Consulta: 2015, Marzo 01].

APÉNDICES

APÉNDICE A.1
CÁLCULOS TÍPICOS

Flujo de salida del ciclón, F₃:

Sean F_a a F₆, los flujos másicos del sistema según los puntos de la figura 8 y y_a a y₆ las fracciones másicas en el sistema.

Pero como y₃→0; y₁→1 entonces combinando las ecuaciones 4 a 6:

$$0,0939 * \left(\frac{12000 \text{kg}}{\text{h}} \right) = 1126,80 \text{kg/h}$$

De Ecuación 4:

$$12000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \frac{1126,80 \text{kg}}{\text{h}} + F_3; F_3 = 10873,20 \text{ kg/h}$$

Área de tubería de entrada al ciclón, A_t: de la ecuación 7

$$A_t = \frac{3,1415 * (0,30 \text{ m})^2}{4} = 0,071 \text{ m}^2$$

Densidad del aire, ρ_a: de la ecuación 8 y para el caso del aire, y_{N2}=0,79; M_{N2}=28 g/mol; y_{O2}=0,21 y M_{O2}=32 g/mol, entonces:

$$\rho_a = \frac{(0,2 \text{ bar} * \frac{0,9869 \text{ atm}}{1 \text{ bar}}) * \left[(0,79 * 28 \frac{\text{g}}{\text{mol}}) + (0,21 * 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}) \right]}{0,0821 \frac{\text{atm.L}}{\text{mol.K}} * (43 + 273,15) \text{ K}} = 0,2193 \text{ g/L}$$

Caudal del aire a la entrada del ciclón, Q_a: de la ecuación 9

$$Q_a = 0,071 \text{ m}^2 * 19 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{(3,28 \text{ ft})^3}{(1 \text{ m})^3} = 2856,17 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Dimensionamiento del ciclón:

Para el diseño del ciclón se consideraron los cálculos del trabajo de Echeverri (2006), tomando como modelo un ciclón tipo Stairmand de alta capacidad (ver figura 7).

Diámetro del ciclón, D_c: de la ecuación 10

$$D_c = \sqrt{\frac{0,071 \text{ m}^2}{(0,75 * 0,375)}} = 0,5024 \text{ m}$$

De acuerdo a la figura 7, se realiza el dimensionamiento del ciclón tipo Stairmand

Altura de entrada, a: de la ecuación 11

$$a = 0,75 * 0,5024 \text{ m} = 0,3768 \text{ m}$$

Ancho de entrada, b: de la ecuación 12

$$b = 0,375 * 0,5024 \text{ m} = 0,1884 \text{ m}$$

Altura de salida, S: de la ecuación 13

$$S = 0,875 * 0,5024 \text{ m} = 0,4396 \text{ m}$$

Diámetro de salida, D_s: de la ecuación 14

$$D_s = 0,75 * 0,5024 \text{ m} = 0,3768 \text{ m}$$

Altura parte cilíndrica, h: de la ecuación 15

$$h = 1,5 * 0,5024 \text{ m} = 0,7537 \text{ m}$$

Altura parte cónica, z: de la ecuación 16

$$z = 2,5 * 0,5024 \text{ m} = 1,2561 \text{ m}$$

Altura total del ciclón, H: de la ecuación 17

$$H = 4,0 * 0,5024 \text{ m} = 2,0098 \text{ m}$$

Diámetro salida de partículas, B: de la ecuación 18

$$B = 0,375 * 0,5024 \text{ m} = 0,1884 \text{ m}$$

Velocidad equivalente en el ciclón, W: de la ecuación 19

En este caso, valor de μ_a se consigue por tablas de aire a la temperatura de trabajo ($\mu_a = 1,92 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$). Entonces:

$$W = \sqrt{\frac{4 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \left(1,92 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \text{s}\right) * \left[578 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - \left(0,2193 \frac{\text{g}}{\text{L}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}\right)\right]}{3 * \left(0,2193 \frac{\text{g}}{\text{L}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}\right)^2}}$$

$$W = 1,4445 \text{ m /s}$$

Velocidad de saltación, v_s : de la ecuación 20 y tomando en consideración la figura 7 para conocer el valor de b/D_c , se tiene que:

$$v_s = \frac{4,913 * 1,4445 \frac{m}{s} * (0,375 \text{ m})^{0,4} * (0,5024 \text{ m})^{0,067} * \sqrt[3]{(19 \frac{m}{s})^2}}{\sqrt[3]{(1 - 0,375 \text{ m})}}$$

$$= 38,1232 \text{ m/s}$$

Relación de velocidades, ve/vs: de la ecuación 21

$$\frac{19 \text{ m/s}}{38,1232 \text{ m/s}} < 1,35 = 0,4984 \rightarrow \text{NO HAY RESUSPENSIÓN}$$

Volumen del ciclón evaluado sobre la salida, vsc: de la ecuación 22

$$v_{sc} = \frac{\pi}{4} \left(S - \frac{a}{2} \right) (D_c^2 - D_s^2) \quad (\text{Ecuación 22})$$

Entonces:

$$v_{sc} = \frac{3,1415}{4} \left(0,4396 \text{ m} - \frac{0,3768 \text{ m}}{2} \right) [(0,5024 \text{ m})^2 - (0,3768 \text{ m})^2] = 0,0218 \text{ m}^3$$

Longitud natural del ciclón, L: de la ecuación 23

$$L = 2,3 * 0,3768 \text{ m} * \sqrt[3]{\frac{(0,5024 \text{ m})^2}{(0,3768 \text{ m} * 0,1884 \text{ m})}} = 1,3227 \text{ m}$$

Factor de dimensiones lineales, kL: de la ecuación 24

$$k_L = 0,5024 \text{ m} - (0,5024 \text{ m} - 0,1884 \text{ m}) \left[\frac{0,4396 \text{ m} + 1,3227 \text{ m} - 0,7537 \text{ m}}{1,2561 \text{ m}} \right] = 0,2502 \text{ m}$$

Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural del ciclón, vr: de la

ecuación 25

$$\begin{aligned}v_r &= \frac{3,1415}{4} (0,5024 \text{ m})^2 (0,7537 \text{ m} - 0,4396 \text{ m}) \\&+ \frac{3,1415}{12} (0,5024 \text{ m})^2 (1,3227 \text{ m} + 0,4396 \text{ m} - 0,7537 \text{ m}) \left[1 \right. \\&+ \left. \frac{0,2502 \text{ m}}{0,5024 \text{ m}} + \left(\frac{0,2502 \text{ m}}{0,5024 \text{ m}} \right)^2 \right] - \frac{3,1415}{4} (0,3768 \text{ m})^2 * (1,3227 \text{ m}) \\&= 0,0311 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Factor de dimensiones volumétricas, k_c : de la ecuación 26

$$k_c = \frac{(0,0218 \text{ m}^3 + 0,0311 \text{ m}^3)}{(0,5024 \text{ m})^3} = 0,4172$$

Relación altura de entrada/diámetro del ciclón, K_a : de la ecuación 27

$$K_a = \frac{0,3768 \text{ m}}{0,5024 \text{ m}} = 0,75$$

Relación ancho de entrada/diámetro del ciclón, K_b : de la ecuación 28

$$K_b = \frac{0,1884 \text{ m}}{0,5024 \text{ m}} = 0,375$$

Factor de configuración, G : de la ecuación 29

$$G = \frac{8 * 0,4172}{(0,75 + 0,375)^2} = 2,6371$$

Exponente de vórtice, n : de la ecuación 30

$$n = 1 - (1 - 0,67 * (0,5024 \text{ m})^{0,14}) \left(\frac{(43 + 273,15)}{283} \right)^{0,3} = 0,5952$$

Tiempos de relajación por intervalos de tamaño, Ti: de la ecuación 31 y 32 se muestran los valores de tiempos de relajación de tamaño de partícula y eficiencias fraccionales.

Rango de granulometría (µm)	Tamaño de partícula (µm)	Fracción másica, Yi (%)	Diámetro de partículas, Dp (µm)	Dp (m)	Tiempo de relajación, Ti (s)	Eficiencia fraccional, δi	δi x mi
700-900	850	0,27	850	850x10-6	1,2080	0,999	0,00270
450-700	600	3,52	600	600x10-6	0,6021	0,996	0,03507
300-450	425	28,22	425	425x10-6	0,3021	0,989	0,27914
200-300	250	46,22	250	250x10-6	0,1045	0,961	0,44418
100-200	180	11,37	180	180x10-6	0,0542	0,929	0,10559
0-100	P-100	9,39	100	100x10-6	0,0167	0,839	0,07879

Eficiencia fraccional por intervalos de tiempo, δi:

Los valores se encuentran en la tabla anterior, columna 7.

Eficiencia global, δT:

$$\delta_t = 0,0027 + 0,0351 + 0,2791 + 0,4442 + 0,1056 + 0,0788 = 0,9455$$

Expresado en porcentaje corresponde a un 94,55 %.

Se estarían utilizando teóricamente, de lo que hasta ahora se está enviando

a piso:

$$1500 \frac{kg}{dia} * 94.55\% = 1418.25 \frac{kg}{dia}$$

Número de cabezas de velocidad, N_H : de la ecuación 34

En este caso, $k=16$ y es contante. Luego:

$$N_H = 16 * \frac{0,3768 \text{ m} * 0,1884 \text{ m}}{(0,3768 \text{ m})^2} = 8$$

Caída de presión en función a la velocidad de entrada, $\Delta P_{\text{ciclón}}$: de la ecuación 35

$$\Delta P_{\text{ciclón}} = \frac{1}{2} * 8 * 0,2193 \frac{g}{L} * \left(\frac{1000L}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) * \left(19 \frac{m}{s} \right)^2 = 316,67 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

Área transversal a la salida del ciclón, A_{sc} : de la ecuación 36

$$A_{sc} = \frac{3,1415}{4} * (0,3768 \text{ m})^2 = 0,1115 \text{ m}^2$$

Velocidad de salida del ciclón, v_s : de la ecuación 37

$$v_s = \frac{1126,80 \frac{kg}{h} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{0,1115 \text{ m}^2 * 0,2193 \frac{g}{L} * \left(\frac{1000L}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right)} = 12,80 \text{ m/s}$$

Caudal del aire a la salida del ciclón, Q_1 : de la ecuación 38

$$Q_1 = 0,1115 \text{ m}^2 * 12,80 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{1 \text{ h}} = 5137,92 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dimensionamiento del filtro mangas: Para el diseño del filtro de mangas se consideraron los cálculos del trabajo de Echeverri (2008) y los datos técnicos de su estudio. Además de las tablas 17 a 21, se tiene que

Concentración de partículas en suspensión a la entrada del filtro, C_{ps} : de la ecuación 39

$$C_{ps} = \frac{\frac{1126,80\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} * 0,0939}{12,80 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,1115 \text{ m}^2} = 2,0593 \text{ g/m}^3$$

Asumiendo una velocidad de filtración v_f de 0,015 m/s para harina de acuerdo a la tabla 17, se tiene que:

Área de filtración, A_f : de la ecuación 40

$$A_f = \frac{12,80 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,1115 \text{ m}^2}{0,015 \text{ m/s}} = 95,1467 \text{ m}^2$$

Área total de filtración, A_{Tot} : de la ecuación 41

Donde F' es el factor de diseño multiplicador de la tabla 21 que es igual a 1,04.

Entonces:

$$A_{\text{Tot}} = 95,1467 \text{ m}^2 \cdot (1,04) = 98,9525 \text{ m}^2$$

Área de filtración de una manga, Am: de la ecuación 42 y asumiendo que la longitud de manga, Lm es de 2,4 y el diámetro de manga, Dm es 0,15 m, se tiene que:

$$A_m = 3,1415 \cdot (0,15 \text{ m}) \cdot (2,4 \text{ m}) + \frac{3,1415 \cdot (0,15 \text{ m})^2}{4} = 1,1486 \text{ m}^2$$

Número total de mangas, nm: de la ecuación 43

$$n_m = \frac{98,9525 \text{ m}^2}{1,1486 \text{ m}^2} = 86,15 \approx 86$$

Según la tabla 18, el número de compartimientos para estas mangas del área total de filtración es igual a 2.

De acuerdo a lo indicado por catálogo de filtro mangas de Niveló y Ugalde (2011), se consigue de manera comercial condiciones similares a este tipo de filtro tipo rectangular, encontrándose que:

Dimensiones (m)			Rango de caudal de aire (m ³ /min)
A	B	C	
1,920	1,920	5,600	79 – 237

Numero de mangas: 90

Dimensiones de las mangas: Dm = 0,120 m; Lm = 2,4 m

Numero de compartimientos: 2

Depresión máxima del filtro: 500 mm H₂O

Superficie filtrante (m²): 79

Se recalcula el área de filtración de una manga con la ecuación 43, luego se despeja de la ecuación 32 el diámetro de manga y luego con la ecuación 40, la ecuación 41 y el factor multiplicador de la tabla 18, cuyo valor es 2, se calcula el valor de la velocidad de filtración:

$$\frac{A_{Tot}}{n_m} = A_m = 3,1415 * D_m * (2,4 \text{ m}) + \frac{3,1415 * D_m^2}{4}$$
$$0,7854D_m^2 + 7,5396D_m - 0,8777 = 0$$

Luego:

$$D_m = 0,1150 \text{ m}$$

Ahora:

$$\frac{A_{Tot}}{F'} = \frac{v_{sc}A_{sc}}{v_f}$$

Entonces:

$$v_f = \frac{v_{sc}A_{sc}}{A_{Tot}} * F' = \frac{12,80 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,1115 \text{ m}^2}{79 \text{ m}^2} * 2 = 0,036 \text{ m/s}$$

Caída de presión a través de la tela, ΔP_m : de la ecuación 44 y según las tablas 19 y 20 y considerando que la tela de las mangas es de algodón con un tejido de 18 x 22 hilos/cm, se tiene que el valor de resistencia para telas de tejido plano, K_1 es igual a 125 mm H₂O.s/m. Luego:

$$\Delta P_m = 125 \frac{\text{mm H}_2\text{O} \cdot \text{s}}{\text{m}} * 0,036 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 4,5 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Caída de presión por las partículas, ΔP_p : de la ecuación 45. Según Echeverry (2008) se puede asumir un tiempo de acumulación de partículas \emptyset igual a 10 minutos y un valor de resistencia de partícula K_2 igual a 0,635 mm H₂O.m.s/g. Por tanto:

$$\begin{aligned} \Delta P_p &= 0,635 \text{ mm H}_2\text{O} \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{s}}{\text{g}} * 20,593 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * \left(0,036 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * \left(10 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}\right) \\ &= 10,17 \text{ mm H}_2\text{O} \end{aligned}$$

Caída de presión a través del filtro, ΔP_f : de la ecuación 46

$$\Delta P_f = 4,5 \text{ mm H}_2\text{O} + 10,17 \text{ mm H}_2\text{O} = 14,66 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Concentración de partículas en la corriente gaseosa a condiciones de referencia, C_p : de la ecuación 47

$$C_p = \frac{20593 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * 43}{298} = 2971,5 \text{ mg/m}^3$$

Eficiencia de colección, δ_f : de la ecuación 48. En este caso, se establece que el límite de emisión de contaminantes al aire respecto a partículas sólidas es de 50 mg/m³ (Decreto 638 del 26 de abril de 1995).

$$\delta_f = \frac{2971,5 \text{ mg/m}^3 - 50 \text{ mg/m}^3}{2971,5 \text{ mg/m}^3} = 98,32 \% . \text{ Por tanto, la reducción de partículas en}$$

el ambiente será: $5,94 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} - (5,94 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * 98,32\%) = 0,099 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$

¡Se cumple con el límite de emisión y se reduce la concentración de polvos!

Dimensionamiento del tornillo sinfín:

Para este caso se asume un tornillo sinfín de hélice continua tipo A de acero inoxidable. El diámetro de partícula promedio del producto a transportar por el tornillo sinfín es igual a $d_p = 250$ micrones (ver tabla 16, columna 2). Se considera un material homogéneo, tiene ángulo de inclinación cero grados, el tipo de carga es pesada y abrasiva (ver tabla 22).

Paso del tornillo, t: considerando que el material transportado es granular y su flujo es igual a 10873,20 kg/h, además de asumir que el diámetro del tornillo d_{To} es igual al paso de tornillo t entre 0,5; la velocidad del tornillo n es 100 rpm (ver tabla 9) y el coeficiente de disminución del flujo de material k con un ángulo de inclinación del canalón igual a cero grados es 1 (tomado de tabla 22), se tiene que por la ecuación 49:

$$t = \sqrt[3]{\frac{6 * 10873,20 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{60\text{min}}}{360 * 100\text{rpm} * 0,125 * 3,1415 * 578 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1}} = 0,0928 \text{ m}$$

Diámetro del tornillo, d_{To} : de la ecuación 50

$$d_{To} = \frac{0,0928 \text{ m}}{0,5} = 0,1856 \text{ m}$$

Profundidad de rosca, h': de la ecuación 51

$$\text{Entonces: } h' = 0,6866 * 0,0928 \text{ m} = 0,0637 \text{ m}$$

Diámetro de fondo, df: de la ecuación 52

$$d_f = 0,1286 \text{ m} - 2 * (0,0637 \text{ m}) = 0,0582 \text{ m}$$

Angulo de hélice, Ω : de Alvarado (2007) se tiene que por la ecuación 53:

$$\Omega = 180 - \left(90 + \tan^{-1} \frac{1}{3,1415 * 0,0582 \text{ m}} \right) = 10,36^\circ$$

Longitud del tornillo, LTo: de la ecuación 54

$$L_{To} = (0,02 * 2 + 4,5) * 0,0928 \text{ m} = 0,4213 \text{ m}$$

En función al catálogo de talleres HIDROMETALICA se toma en consideración el valor del diámetro calculado y se buscan las dimensiones del tornillo que más se asemejan a los valores comerciales. En este caso corresponde al tipo TRSF-200 cuyos valores son como sigue (ver apéndice A.2.3). Luego, recalculando las dimensiones de profundidad de rosca y diámetro de fondo con las ecuaciones 50 y 51, se tiene que:

$$h' = 0,1373 \text{ m}$$

$$d_f = 0,0736 \text{ m}$$

Para un diámetro de tornillo y paso del tornillo de 0,200 m, la velocidad de transporte es según el apéndice A.5 de 160 rpm debido a que la harina de maíz se considera un material clase I (su peso específico se sitúa entre 400 - 700 kg/m³). Además de ello, según los datos comerciales dados por INGEMECANICA (2016) para tornillo sin fin, la velocidad de transporte para los valores de diámetro y paso del tornillo es de 65 rpm y la capacidad en horizontal al 100 % es de 26 m³/h.

Velocidad de desplazamiento del transportador, v_{sf}: de la ecuación 55

$$v_{sf} = \frac{0,200 \text{ m} * 65 \text{ rpm}}{60} = 0,2167 \text{ m/s}$$

Potencia para desplazamiento horizontal, P_H: de la ecuación 56 y de la tabla 22 se toma el valor de Co igual a 1,2. Así que:

$$P_H = \frac{1,2 * \left(10873,20 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} \right) * 0,4213 \text{ m}}{367} = 0,012 \text{ kW}$$

Potencia de accionamiento del tornillo en vacío, P_N: de la ecuación 57

$$P_N = \frac{0,200 \text{ m} * 0,4213 \text{ m}}{20} = 0,0042 \text{ kW}$$

Potencia de accionamiento del tornillo sin fin inclinado, P_{St}:

Como el tornillo sin fin presenta un ángulo de inclinación de cero grados, entonces esta variable es igual a cero.

Potencia total, P_{Tot}: de la ecuación 58

$$P_{Tot} = 0,012 \text{ kW} + 0,0042 \text{ kW} + 0 \text{ kW} = 0,0162 \text{ kW}$$

Potencia del Motor Eléctrico, P_m: de la ecuación 59 y para un nivel de trabajo de 3000 msnm, se tiene que de acuerdo al catálogo electrónico de Motores WEG, la eficiencia del motor η_g es igual a 0,66:

$$P_m = \frac{0,0042 \text{ kW}}{0,66} = 0,0066 \text{ kW}$$

Dimensionamiento del tamaño del ducto, D_d: según lo revisado en la literatura, Mott (1996) y lo establecido en la ecuación 60:

$$D_d = \sqrt{\frac{4*0,1115 \text{ m}^2}{3,1415}} = 0,38 \text{ m}$$

Número de Reynolds, Re: de la ecuación 61

$$Re = \frac{\frac{0,3327 \text{ kg}}{\text{m}^3} * 19 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,38 \text{ m}}{1,92 * 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}} = 1,25 * 10^5$$

Con el valor del número de Reynolds y el valor de la rugosidad relativa de tubería, ϵ/d se ubica el valor del factor de fricción para la tubería comercial. Con una rugosidad ($\epsilon_{abs}=0,00015$) relativa de $3,67 * 10^{-6}$

Perdidas por accesorios. Para el caso de los codos de 90°

$$h_m = \frac{0,90 * 0,38}{2 * 9,80} = 7,52$$

Presión dinámica en el ducto, ΔP_d : de la ecuación 62

$$\Delta P_d = \left(\frac{(12,80 \text{ m/s})^2}{4005} \right) = 0,04090$$

Presión estática en el ducto, SP_d : de la ecuación 63

$$SP_d = 0,04090 + (3 * 7,52) = 22,60$$

Pérdidas debido a resistencias por el movimiento de la corriente de aire,

h_a : de la ecuación 66

$$h_d = \frac{0,578 \text{ kg/m}^3 * (19 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,80} = 0,5603$$

Perdidas por ingreso al circuito, h_{ia} : de la ecuación 67

$$h_{ia} = 2 * 0,5603 = 1,1206$$

Selección del tipo de ventilador óptimo para el sistema de transporte de harina de maíz

Presión estática del ventilador, ΔP_{sp} : de la ecuación 68

$$\Delta P_{sp} = -0,04090$$

El valor negativo es debido a que representa la presión negativa que deberá originar el ventilador centrífugo. Se consideran recomendables los ventiladores de

media presión entre 200 y 800 mm c agua (soplantes).

ESTIMACION DE COSTOS

Costos para ciclones: de la ecuación 69

$$CE = 57800(0,458m * 0,172m)^{0,903} = 5806,90 \$$$

A la fecha ese costo sería, considerando los valores del apéndice A.7.1:

$$CE_{\text{actual}} = 5806,90 \$ * \frac{468,2}{116,748} = 23284,46 \$$$

Costo de equipo para filtro manga, según el apéndice A.8 y convirtiendo en área de filtración a pies cuadrados (1065,09 ft²), se tiene que para acero inoxidable en el año 1996 se entra al gráfico con el valor de la ecuación:

$$CE_{FM1} = 3,969 + 2,964 * (\text{area de tela gruesa}) \rightarrow CE_{FM1} = 10000\$$$

Luego, el costo del equipo a la fecha, considerando los valores del apéndice A.7.2:

$$CE_{\text{actual}} = 10000 \$ * \frac{115,142}{78,859} = 14600,99\$$$

Costo de equipo para tornillo sin fin, según catálogo de equipos para esas dimensiones en esta fecha actual, su valor es de 5200\$.

Costo de equipo para ventilador centrífugo, según lo indicado por Wroth (1960) considerado en el método de índice de costos, para el caso del ventilador centrífugo, se calcula el costo del equipo así:

$$CE_{VENTILADOR} = Costo\ base * F_d$$

Siendo F_d el factor de Wroth según el apéndice A.9. Para este caso, se consideraron los costos bases de la literatura de 1992 igual a 1000 \$, por lo tanto:

$$CE_{VENTILADOR} = 1000\$ * 1,00 = 1000\$$$

Luego, con el apéndice A.7.1 y A.7.2 se tiene que:

$$CE_{actual} = 1000\$ * \frac{115.142}{101,856} = 1130,44\$$$

Los valores de los equipos principales serán entonces:

Ciclón	23284,46 \$
Filtro mangas	14600,99 \$
Tornillo sin fin	5200 \$
Ventilador centrifugo	1130,44 \$

Fuente: Propia (2017)

$$\text{Costo total} = \sum CE_{actual} = 23284,46 \$ + 14600,99 \$ + 5200 \$ + 1130,44 \$$$

$$\text{Costo total} = 44215,89 \$$$

APÉNDICE A.2

TABLAS PARA DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

A.2.1 Características de ventilador modelo CX 5500 de la serie APE tipo 711/A de 5,5 kW

400V 50Hz (III~) 1.400 r.p.m. (n: min-1) Ø 450-900 mm

		Ø mm	m³/h	Amp.	W	dB (A)	ACCESORIOS / ACCESSORIES / ACCESSOIRES / ZUBEHÖR					
							R	RP	CA	JN	DS	SB
AXITRANS 4-450T	TM4045T	450	6.500	1,10	250	69	•	•	•	•	•	•
AXITRANS 4-560T	TM4056T	560	11.500	1,60	550	71	•	•	•	•	•	•
AXITRANS 4-630T	TM4063T	630	16.000	2,90	1.100	74	•	•	•	•	•	•
AXITRANS 4-710T	TM4071T	710	20.000	2,90	1.100	78	•	•	•	•	•	•
AXITRANS 4-900T	TM4090T	900	40.000	6,60	3.000	87	•	•	•	•	•	•

Fuente: INGEMECANICA (2016)

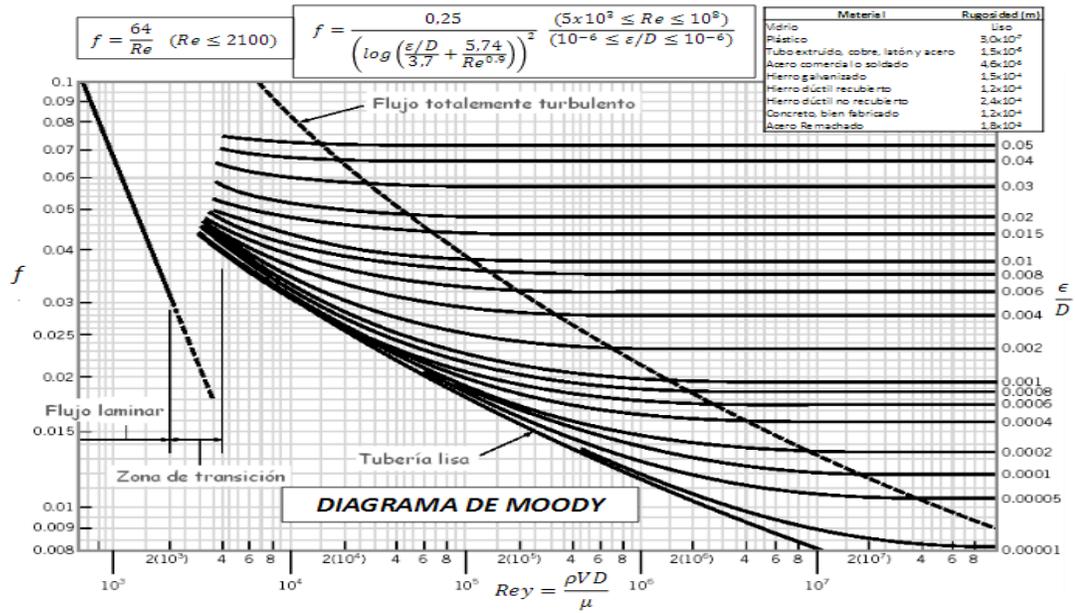
A.2.2 Dimensiones del tornillo tipo TRSF-200

			DIMENSIONES (mm)					
Diámetro del tornillo (mm)	Paso, t (mm)	Potencia del motor (KW)	A	B	C	D	E	FxG
200	0	1,5	20	12	24	55	65	220x235

Fuente: HIDROMETALICA (2016)

APÉNDICE A.3

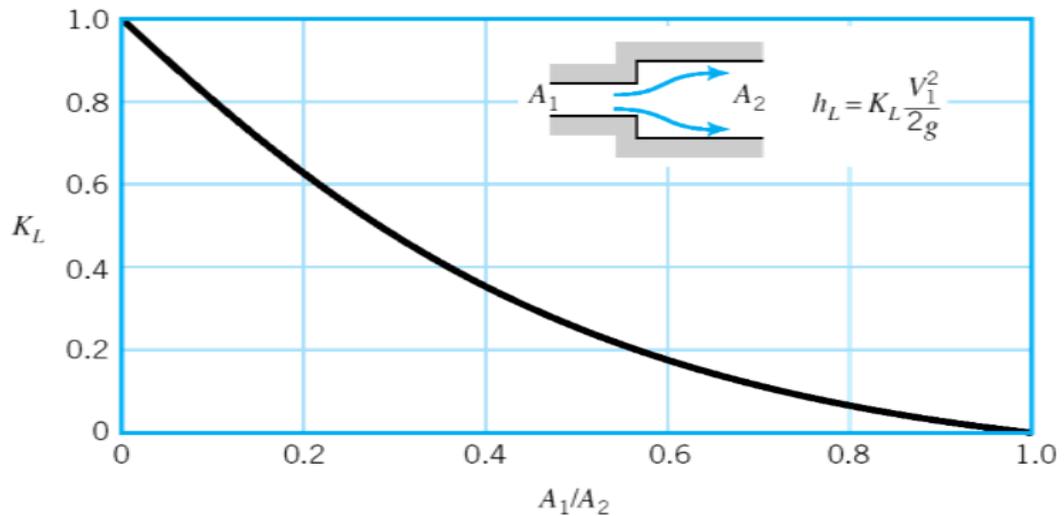
GRAFICO DE MOODY



Fuente: Mott (1996)

APÉNDICE A.4

GRAFICO DE PÉRDIDAS MENORES: EXPANSIÓN REPENTINA O SÚBITA



APÉNDICE A.5

VELOCIDAD DE GIRO RECOMENDADA PARA UN TRANSPORTADOR DE TORNILLO EN FUNCIÓN DE LA CLASE DE MATERIAL Y DEL DIÁMETRO DEL TORNILLO

Diámetro del tornillo (mm.)	Velocidad máxima (r.p.m.) según la clase de material (*)				
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
100	180	120	90	70	30
200	160	110	80	65	30
300	140	100	70	60	25
400	120	90	60	55	25
500	100	80	50	50	25
600	90	75	45	45	25

Fuente: Ingemecanica (2016)

APÉNDICE A.6

COEFICIENTES DE RESISTENCIA K PARA CONECTORES DE TUBERÍA

TIPO DE CONECTOR	VALOR
Válvula de globo o de esfera abierta	10.0
Válvula de ángulo abierta	5.0
Válvula de compuerta abierta	0.2
Válvula de compuerta medio abierta (50 %)	5.6
Retorno doblado	2.2
T	1.80
Codo 90 °	0.9
Codo 45 °	0.4

Fuente: Crane (s/f)

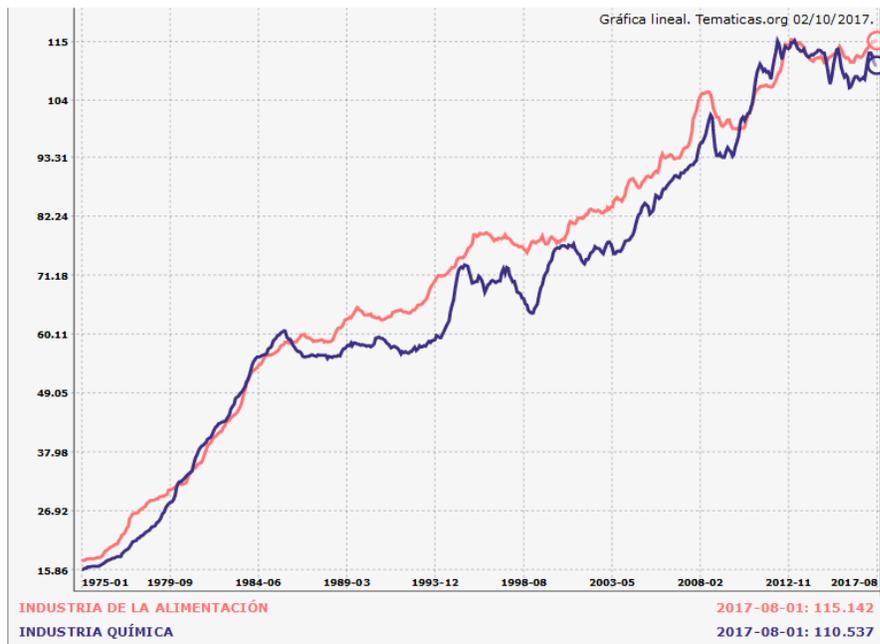
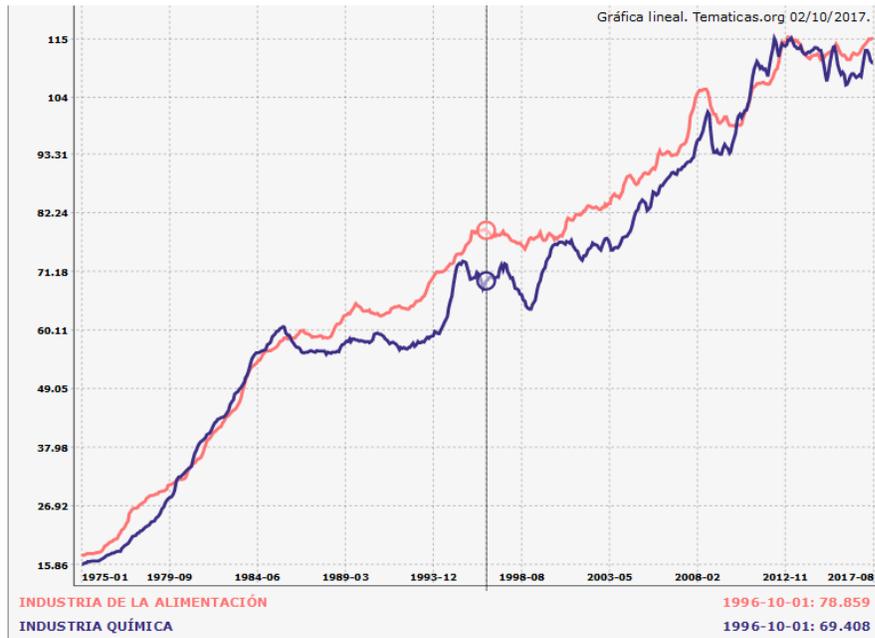
APÉNDICE A.7.1

ÍNDICE DE PRECIOS AL CONSUMO

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1970	8,646	8,613	8,679	8,727	8,670	8,703	8,867	9,007	9,048	9,138	9,162	9,188
1971	9,285	9,278	9,376	9,475	9,533	9,573	9,573	9,590	9,704	9,811	9,944	10,074
1972	10,082	10,074	10,172	10,172	10,222	10,246	10,386	10,493	10,641	10,714	10,731	10,814
1973	10,895	10,912	11,002	11,158	11,322	11,494	11,617	11,808	12,012	12,202	12,217	12,350
1974	12,423	12,465	12,736	13,015	13,179	13,236	13,393	13,614	13,828	13,975	14,361	14,558
1975	14,762	14,903	15,000	15,264	15,452	15,494	15,740	15,987	16,241	16,241	16,347	16,610
1976	16,807	16,997	17,391	17,743	18,556	18,442	18,556	18,713	19,065	19,329	19,690	19,894
1977	20,542	20,849	21,348	21,736	21,926	22,539	23,278	24,033	24,368	24,747	24,947	25,144
1978	25,545	25,796	26,127	26,677	26,944	27,216	27,806	28,291	28,524	28,785	28,911	29,303
1979	29,806	30,037	30,349	30,807	31,167	31,442	32,121	32,437	32,864	33,305	33,385	33,872
1980	34,804	35,115	35,304	35,645	35,892	36,449	36,964	37,397	37,795	38,098	38,487	39,025
1981	39,818	40,020	40,817	41,223	41,415	41,451	42,263	42,778	43,118	43,603	43,981	44,647
1982	45,572	45,927	46,378	46,988	47,668	48,126	48,744	49,082	49,139	49,631	49,793	50,901
1983	51,761	52,021	52,337	53,056	53,276	53,588	53,779	54,501	54,937	55,682	56,249	57,122
1984	58,007	58,227	58,696	58,973	59,292	59,712	60,629	61,050	61,174	61,543	61,859	62,278
1985	63,438	63,898	64,296	64,959	65,163	65,052	65,422	65,520	66,239	66,580	67,093	67,371
1986	69,308	69,617	69,852	70,022	70,217	70,862	71,570	71,773	72,516	72,787	72,620	72,930
1987	73,489	73,802	74,231	74,399	74,307	74,325	75,078	75,045	75,737	76,187	76,012	76,284
1988	76,768	76,978	77,536	77,266	77,262	77,562	78,586	79,363	80,060	80,150	80,105	80,742
1989	81,680	81,738	82,260	82,481	82,598	83,048	84,396	84,590	85,485	85,830	85,969	86,304
1990	87,144	87,697	88,018	88,218	88,211	88,483	89,672	90,065	91,013	91,821	91,729	91,955
1991	93,025	92,895	93,197	93,399	93,664	93,934	95,100	95,453	96,233	96,838	96,985	97,038
1992	98,576	99,233	99,592	99,485	99,745	99,726	100,050	100,962	101,795	101,856	101,921	102,227
1993	103,185	103,218	103,581	104,035	104,322	104,581	104,955	105,583	106,180	106,576	106,755	107,262
1994	108,346	108,385	108,743	109,171	109,394	109,512	109,941	110,651	110,988	111,229	111,422	111,914
1995	113,074	113,628	114,290	114,896	114,942	115,051	115,069	115,394	115,848	116,064	116,372	116,748
1996	117,462	117,782	118,200	118,871	119,281	119,181	119,340	119,678	119,970	120,134	120,141	120,497
1997	120,847	120,765	120,825	120,869	121,045	121,041	121,263	121,798	122,401	122,356	122,599	122,925
1998	123,215	122,927	122,984	123,289	123,450	123,530	123,986	124,318	124,410	124,421	124,309	124,653
1999	125,111	125,185	125,737	126,202	126,198	126,225	126,772	127,312	127,557	127,509	127,714	128,290
2000	128,712	128,894	129,405	129,943	130,159	130,553	131,346	131,897	132,238	132,576	132,906	133,366
2001	133,413	133,851	134,415	135,113	135,624	136,081	136,415	136,745	136,726	136,584	136,483	136,978

Fuente: Pérez (2008)

APENDICE A.7.2
PRECIOS Y COSTES / INDICE DE PRECIOS INDUSTRIALES DESDE
ENERO DE 1975 HASTA AGOSTO DE 2017

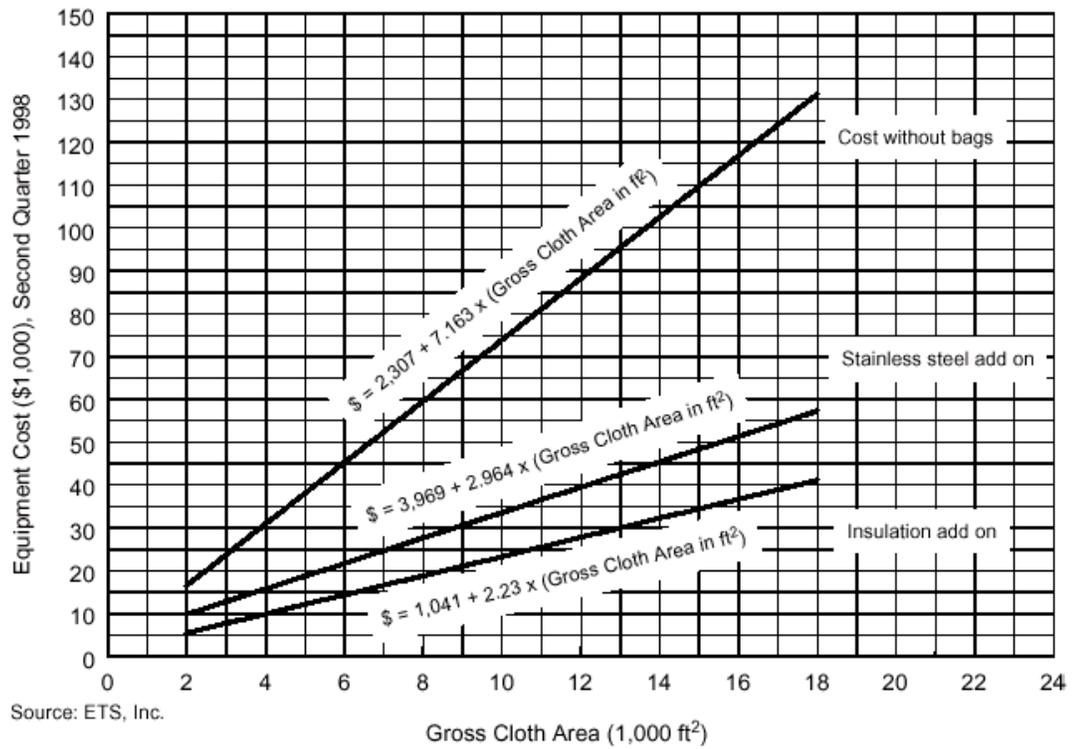


Fuente: Temática.org (2017)

APÉNDICE A.8

COSTOS DE EQUIPO PARA FILTROS CON CHORRO A PULSO (*JET PULSE* - CAJA COMÚN)

Caution: Do not extrapolate.



Fuente: Fernández (2008)

APENDICE A.9

FACTOR F_d SEGÚN WROTH

Tipo de diseño	F _d
Centrífuga / motor	1.00
Alternativo / vapor *	1.07
Centrífuga / turbina *	1.15
Alternativo / motor *	1.29
Alternativo / máquina de gas *	1.82

* Incluyen recipientes de etapas internas y ventiladores pero no empaques u otras divisiones de flujos.

Fuente: Temática.org (2017)