

**PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO POR
FILTROS DE MANGAS PARA EL ÁREA DE TRITURACION DE LA PLANTA
CEMEX S.A BUCARAMANGA**

**JAVIER FERNANDO DÍAZ NIEVES
JAIME ENRIQUE ROJAS PABÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2016

**PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO POR
FILTROS DE MANGAS PARA EL ÁREA DE TRITURACION DE LA PLANTA
CEMEX S.A BUCARAMANGA**

**JAVIER FERNANDO DÍAZ NIEVES
JAIME ENRIQUE ROJAS PABÓN**

Trabajo de grado para optar al título de

Ingeniero Mecánico

Director

JAVIER RUGELES PEREZ

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
BUCARAMANGA**

2016

CONTENIDO

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO “PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO POR FILTROS DE MANGAS PARA EL ÁREA DE TRITURACION DE LA PLANTA CEMEX S.A BUCARAMANGA”	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2 JUSTIFICACION DE LA SOLUCIÓN	17
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO.....	17
1.3.1 Objetivo General.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
2. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	20
3. MARCO TEORICO	22
3.1 GENERALIDADES DEL MANEJO DEL POLVO.....	22
3.1.1 Definición de polvo.....	22
3.1.2 Mediciones de polvo.	23
3.2 FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADOS A SISTEMAS DE DESEMPOLVADO	25
3.2.1 Conservación de la masa.:	25
3.2.2 Conservación de la energía.....	26
3.2.3 Análisis de presiones en una sección de ducto.....	26
3.3 DESCRIPCION DE UN SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVOS	27
3.3.1 Campanas de extracción	28
3.3.2 Tipos de campanas de extracción.....	29
3.3.3 Filtro de mangas.....	31
3.3.4 Ductos de transporte de aire contaminado	32
3.3.5 Ventiladores	33
3.3.6 Curvas Características De Ventiladores.....	34
3.4 PROCESO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESEMPOLVADO DE EXTRACCION LOCALIZADA.	35
3.4.1 Consideraciones del fluido.....	35
3.4.2 Criterios de diseño	36
3.4.3 Criterios en el diseño de campanas de captura	37
3.4.4 Perdidas de presión en campanas.....	38

3.4.5 Dimensionamiento de campanas de extracción localizada.....	41
4. AUDITORIA DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO DE LA SECCION DE TRITURACION DE LA PLANTA CEMEX.SA BUCARAMANGA	42
4.1 DESCRIPCION GENERAL DE SISTEMA ACTUAL DE DESEMPOLVADO.....	42
4.2 CARACTERIZACION DEL FILTRO DE MANGAS Y VENTILADOR IMPLEMENTADO EN LA SECCION DE TRITURACION.....	43
4.3 CARACTERIZACION DE LA TUBERIA ACTUAL DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO DE LA SECCION DE TRITURACION DE LA PLANTA CEMEX.SA BUCARAMANGA	44
4.3.1 Tramo 1 desde el filtro de mangas.....	44
4.3.2 Tramo 2 desde el filtro de mangas hasta las campana de zaranda y tramo 2' desde el filtro de mangas hasta final de la banda N°1	46
4.3.3 Tramo 3 desde el filtro de mangas hasta la campana del sótano del edificio de trituración.....	49
4.4. TOMA DE VELOCIDADES DEL FLUIDO EN EL SISTEMA DE DESEMPOLVADO ACTUAL SECCION TRITURACION PLANTA CEMEX S.A BUCARAMANGA	51
4.5. TOMA DE PRESIONES DEL FLUIDO EN EL SISTEMA DE DESEMPOLVADO ACTUAL SECCION TRITURACION PLANTA CEMEX.S.A BUCARAMANGA	54
4.6. CALCULO DE VELOCIDADES EN TUBERIA.....	57
4.7 CALCULO DE CAUDALES DEL SISTEMA	58
4.8 RESULTADOS DE VELOCIDADES DE TRANSPORTE DE LOS TRAMOS DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO PLANTA CEMEX S.A BUCARAMANGA	59
4.9 EVALUACIÓN DEL FILTRO DE MANGAS Y CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD.....	60
4.10 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
4.11 EVALUACIÓN DE LAS CAMPANAS DE CAPTURA INSTALADAS	69
4.12 CONCLUSIONES DE LA AUDITORÍA	73
5. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	75
5.1 MÉTODO DE LA PRESIÓN DINÁMICA	75
5.2 DISTRIBUCIÓN DEL CAUDAL	76
5.2.1 Método del equilibrado por diseño	76
5.2.2 Equilibrado por compuertas.....	77
5.3 Corrección de velocidad en uniones de conductos secundarios a conducto principal	77

5.4 REDISEÑO DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO POR FILTROS DE MANGAS PARA EL AREA DE TRITURACIÓN.....	79
5.4.1 Diseño del sistema de extracción de aire contaminado para banda N° 2 y tolva de descarga.....	82
5.4.2 Diseño del sistema de extracción de aire contaminado para banda n° 1, zaranda vibratoria y trituradora de martillos.	106
5.4.3 Diseño de filtros de mangas y cumplimiento de la normatividad.....	110
5.4.4 Línea de aire comprimido.....	114
5.4.5 Sistema de descarga	115
5.5. SELECCIÓN DE VENTILADORES PARA LA PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO DE LA SECCIÓN DE TRITURACION DE LA PLANTA CEMEX BUCARAMANGA	117
6. ANALISIS DE COSTOS DE LA PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO DE LA SECCION DE TRITURACION PLANTA CEMEX BUCARAMANGA	124
6.1 COSTOS DIRECTOS	124
6.2 COSTOS INDIRECTOS	130
6.3 COSTO TOTAL DEL PROYECTO	131
7. CONCLUSIONES.....	132
8. RECOMENDACIONES	134
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	135
BIBLIOGRAFÍA.....	136

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MUESTREO BÁSICO DE POLVO EN UBICACIÓN ESPECIFICA	24
FIGURA 2: DISPOSITIVO ELECTRÓNICO PORTÁTIL DE MEDICIÓN DE POLVO.....	25
FIGURA 3: ESQUEMA VECTORIAL DE PRESIONES EN UN TUBO	27
FIGURA 4: COMPONENTES DE UN SISTEMA DE DESEMPOLVADO.....	28
FIGURA 5: VELOCIDADES DE CAMPANA DE EXTRACCIÓN	29
FIGURA 6: CAMPANA TIPO CABINA.....	30
FIGURA 7: CAMPANA ABIERTA	30
FIGURA 8: FILTRO DE MANGAS	31
FIGURA 9: SISTEMA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA	33
FIGURA 10: CURVA CARACTERÍSTICA DE LOS VENTILADORES	34
FIGURA 11: CAMPANA DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA	38
FIGURA 12: COEFICIENTE DE PÉRDIDAS DE CAMPANAS COLECTORAS	40
FIGURA 13: SECCIÓN DE TRITURACIÓN, PLANTA CEMEX BUCARAMANGA	42
FIGURA 14: ESQUEMA DE CONDUCTOS TRAMO 1	44
FIGURA 15: ESQUEMA DE CONDUCTOS EN TRAMOS 2, 2 Y 3.....	46
FIGURA 16: ANEMÓMETRO DWYER MODELO 8904	52
FIGURA 17: MEDICIÓN DE PRESIONES	55
FIGURA 18: MANÓMETRO DWYER SERIE 477 B.....	56
FIGURA 19: ESQUEMA DE NODO.....	59
FIGURA 20: EFICIENCIA DE FILTRO DE MANGAS CONTRA TAMAÑO DE PARTÍCULAS	64
FIGURA 21: BAJANTE DE MATERIAL GRUESO.....	66
FIGURA 22: CODO CON FISURAS	67
FIGURA 23: CONDUCTO CONECTADO A CODO	67
FIGURA 24: TRITURADORA DE MARTILLOS	68
FIGURA 25: TOLVA MAL HERMETIZADA	69
FIGURA 26: ESQUEMA DE LA PROPUESTA DE REDISEÑO	81
FIGURA 27: DIAGRAMA DE DESEMPOLVADO FILTRO N°1	82
FIGURA 28: VELOCIDAD MÍNIMA EN EL DISEÑO DE DUCTOS	86
FIGURA 29 ESQUEMA UNIÓN D	92
FIGURA 30: ESQUEMA UNIÓN E	96
FIGURA 31: DIAGRAMA DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO FILTRO N°2	106
FIGURA 32: FACTOR DE MATERIAL Y FACTOR DE APLICACIÓN	116
FIGURA 33: DATOS DE ENTRADA PARA LA SELECCIÓN DEL VENTILADOR I.....	118
FIGURA 34 SELECCIÓN DEL VENTILADOR.....	118
FIGURA 35: CURVA CARACTERÍSTICA DEL VENTILADOR PARA FILTRO DE MANGAS I.....	119
FIGURA 36: NIVEL SONORO DEL VENTILADOR PARA FILTRO DE MANGAS I.....	120
FIGURA 37: DIMENSIONAMIENTO DEL VENTILADOR PARA FILTRO DE MANGAS I.....	120
FIGURA 38: CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR PARA FILTRO DE MANGAS I.....	121
FIGURA 39: CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR PARA FILTRO DE MANGAS II.....	123
FIGURA 40: CURVA CARACTERÍSTICA DEL VENTILADOR PARA FILTRO DE MANGAS II.....	123

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS POLVOS EMITIDOS POR UNA PLANTA CEMENTERA.....	22
TABLA 2: ASPECTOS GENERALES DE DISEÑO DE SISTEMAS DE DESEMPOLVADO.	36
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO ACTUAL.....	43
TABLA 4: CONDUCTOS Y ACCESORIOS DE TRAMO 1.....	45
TABLA 5: CONDUCTOS Y ACCESORIOS DE TRAMO 2' Y 2.....	47
TABLA 6: CONDUCTOS Y ACCESORIOS DE TRAMO 3.....	49
TABLA 7: PUNTOS ACTUALES DE DESEMPOLVADO.....	51
TABLA 8: DATOS TÉCNICOS DWYER MODELO 8904.....	52
TABLA 9: MEDICIONES DE VELOCIDADES DE CAMPANA.....	52
TABLA 10: VELOCIDAD DE CAPTURA EN CAMPANAS.....	53
TABLA 11: CARACTERÍSTICAS DEL MANÓMETRO DWYER SERIE 477 B.....	55
TABLA 12: MEDICIÓN DE PRESIONES ESTÁTICAS EN PUNTOS ESPECÍFICOS DE LOS TRAMOS.....	56
TABLA 13: MEDICIÓN DE PRESIONES DINÁMICAS EN PUNTOS ESPECÍFICOS DE LOS TRAMOS.....	57
TABLA 14: VELOCIDAD EN LOS CONDUCTOS.....	59
TABLA 15: NORMATIVIDAD AMBIENTAL COLOMBIANA PARA MATERIAL PARTICULADO CONDICIONES DE REFERENCIA (25 °C Y 760 MM HG).....	60
TABLA 16: NORMATIVIDAD AMBIENTAL COLOMBIANA PARA MATERIAL PARTICULADO CONDICIONES DE REFERENCIA (23 °C Y 680 MM HG).....	61
TABLA 17: CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN CADA PISO DE TRITURACIÓN.....	62
TABLA 18: EMISIÓN DE UN FILTRO ADECUADAMENTE DISEÑADO E INSTALADO Y MÁXIMA EMISIÓN SEGÚN LA NORMA COLOMBIANA.....	65
TABLA 19: CAMPANA DE CAPTURA INSTALADA EN EL FINAL DE BANDA N°1.....	70
TABLA 20: CAMPANA INSTALADA EN LA ZARANDA.....	71
TABLA 21: CAMPANA INSTALADA EN EL SÓTANO EN LA BANDA N°2.....	72
TABLA 22: CAUDAL TOTAL DE AIRE A EXTRAER Y CAPACIDAD DEL FILTRO DE MANGAS INSTALADO.....	79
TABLA 23: CAUDALES DE CAMPANA.....	83
TABLA 24: ACCESORIOS Y LONGITUD DE CADA TRAMO.....	88
TABLA 25: FACTORES DE PÉRDIDA PARA CODOS DADOS.....	88
TABLA 26: FACTORES DE PÉRDIDA PARA UNIONS.....	89
TABLA 27: FACTORES DE PÉRDIDAS DE CAMPANA.....	90
TABLA 28: HOJA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AIRE CONTAMINADO PARA BANDA N° 2 Y TOLVA DE DESCARGA.....	105
TABLA 29: VELOCIDAD DE BOCA EN TRITURADORA.....	107
TABLA 30: CAUDALES EN CAMPANAS.....	107
TABLA 31: ACCESORIOS Y LONGITUD DE CADA TRAMO.....	108
TABLA 32: HOJA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE AIRE CONTAMINADO PARA BANDA N° 1, ZARANDA VIBRATORIA Y TRITURADORA DE MARTILLOS.....	109
TABLA 33: PARÁMETROS DE FILTRO N°2 Y N°1.....	113
TABLA 34: VÁLVULAS DE LIMPIEZA.....	114
TABLA 35: VÁLVULA ROTATORIA.....	115
TABLA 36: CAUDALES DE AIRE A EXTRAER PARA FILTRO 1.....	117
TABLA 37: DATOS PARA LA SELECCIÓN DE VENTILADOR FILTRO I.....	117

TABLA 38: CAUDALES DE AIRE A EXTRAER PARA FILTRO DE MANGAS II.....	122
TABLA 39: DATOS DE ENTRADA PARA LA SELECCIÓN VENTILADOR II.....	122
TABLA 40: COSTOS UNITARIOS DE LAMINA DE ACERO A-36.....	126
TABLA 41: COSTOS DE EQUIPOS DEL SUBSISTEMA 1 DE DESEMPOLVADO.....	126
TABLA 42: COSTOS DE EQUIPOS DEL SUBSISTEMA 2 DE DESEMPOLVADO.....	127
TABLA 43: COSTOS DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	128
TABLA 44: COSTOS DE MANO DE OBRA.....	129
TABLA 45: COSTOS DE TRANSPORTE.....	130
TABA 46: COSTOS INDIRECTOS.....	130

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO POR FILTROS DE MANGAS PARA EL ÁREA DE TRITURACIÓN DE LA PLANTA CEMEX S.A BUCARAMANGA*

AUTORES: JAVIER FERNANDO DÍAZ NIEVES
JAIME ENRIQUE ROJAS PABÓN‡

PALABRAS CLAVE: FILTRO DE MANGAS, REDISEÑO, TRANSPORTE NEUMÁTICO, VENTILACIÓN INDUSTRIAL, POLVO MEDIO AMBIENTE.

DESCRIPCION:

El cemento es uno de los productos más importantes en la industria de la construcción y componente esencial para otros subproductos como el concreto y hormigón. Debido a esto, CEMEX, uno de los principales actores en la industria cementera en Colombia, desarrolla sus políticas empresariales basadas en un enfoque de mejoramiento continuo y en busca de la mayor eficiencia de sus procesos ya establecidos de extracción de materias primas, producción y control en la cadena manufacturera del cemento.

Con una industria bastante dinámica en el sector de la construcción CEMEX Colombia, en su planta de cemento de Bucaramanga ubicada kilómetro 4 vía al mar, busca seguir consolidando su filosofía de mejoramiento continuo. Atendiendo a esta premisa, el presente proyecto, con una propuesta de rediseño del sistema de desempolvado de la sección de trituración de esta planta cementera logrará afianzar la misión de la Universidad Industrial de Santander de atender las necesidades del sector productivo de país.

El área de trituración se dedica a romper materias primas como son piedras de yeso y caliza provenientes de las diversas minas de la región, esta actividad genera gran contenido de material particulado inherente a este proceso, para mitigar y reducir los parámetros de emisión de material particulado actúan los sistemas de desempolvados que son sistemas de ventilación industrial, y captadores de polvo de material fugitivo proveniente de diversos focos como son la trituradora y puntos de transferencia. Con la propuesta de rediseño buscamos optimizar el proceso de captación de polvo y minimizar los contenidos de material fugitivo al ambiente de acuerdo con los lineamientos ambientales.

* Trabajo de Grado.

‡Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería mecánica Director: Ing Javier Rúgeles Pérez

ABSTRACT

TITLE: REDESIGN PROPOSAL OF THE DUST REMOVER SYSTEM BY BAGHOUSE ON THE CRUSHING'S AREA PLANT CEMEX SA BUCARAMANGA*.

AUTHORS: JAVIER FERNANDO DÍAZ NIEVES
JAIME ENRIQUE ROJAS PABÓN‡

KEYWORDS: BAGHOUSE, REDESIGN, PNEUMATIC CONVEYING, INDUSTRIAL VENTILATION, DUST, ENVIRONMENT.

CONTENTS:

Cement is one of the most important products in the construction industry and an essential component for other products like concrete. Due to this CEMEX, one of the major players in the cement industry in Colombia, develops his business policies based on a continuous improvement approach and seeking the greatest efficiency of processes already established on raw material extraction, production and control in the cement manufacturing chain.

With a dynamic industry in the construction sector CEMEX Colombia, at his cement plant located Bucaramanga 4 kilometer road to the sea, seeks to further strengthen his philosophy of continuous improvement. Taking this premise, with a redesign proposal of the dust remover system on the crushing's area section this project will strengthen the mission of the Industrial University of Santander to meet the needs of the productive.

The area is dedicated to breaking crushing raw materials such as gypsum and limestone rocks from the various mines in the region, this activity generates high content of particulate matter inherent to this process, to mitigate and reduce the emission of particulate materials industrial ventilation systems are used. With the redesign proposal we seek to optimize the process dust collection and minimize fugitive material contained environment in accordance with environmental guide

* Graduation Project

‡ Faculty of physical – Mechanical Engineering. School of mechanical engineering. Advisor: Eng. Javier Rúgeles Pérez

INTRODUCCION

La importancia de disponer de aire limpio y sin contaminantes en el ambiente de trabajo industrial es uno de los propósitos de este proyecto. El polvo fugitivo es el material finamente dividido que se esparce en el ambiente y se ha convertido en la industria minera en una de las más grandes inquietudes de las operaciones en el manejo del material triturado. El material particulado o polvo genera problemas en el proceso de las plantas, en el desempeño de los empleados, en la salud de los operarios y la comunidad y en relaciones con los vecinos de la planta. Para poder combatir exitosamente la creciente molestia del polvo en el ambiente, se debe comprender como se genera el polvo, cuáles son las consecuencias del material particulado, las agencias que monitorean esta problemática, cómo se mide el polvo y que métodos existen para mitigarlo. Cuando se logra controlar el material fugitivo la operación será más limpia, segura y más productiva.

En este proyecto se presenta la evaluación del sistema de desempolvado actual de la sección de trituración en la planta CEMEX S.A Bucaramanga y la propuesta de rediseño de tal sistema, haciendo las modificaciones respectivas optimizando el funcionamiento del sistema de colector de polvos esto traducido en un aumento de la producción por la recuperación de material fugitivo que genera pérdidas económicas en el proceso de la elaboración del cemento.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO “PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO POR FILTROS DE MANGAS PARA EL ÁREA DE TRITURACION DE LA PLANTA CEMEX S.A BUCARAMANGA”

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la industria cementera representa un sector altamente consolidado en el desarrollo económico del país. Su crecimiento continuo ligado al desarrollo estructural y de obras en la nación, ha requerido el rediseño de las plantas productoras de cemento para adecuar su capacidad a la demanda creciente. En el contexto de la industria cementera, CEMEX es una compañía global de soluciones para la industria de la construcción, que ofrece productos y servicio a clientes en más de 50 países en el mundo. CEMEX inicio operaciones en Colombia en 1996 con la compra de Cementos Samper y Cementos Diamante, convirtiéndose en el segundo mayor productor del sector. Actualmente consta de 5 plantas cementeras (Tolima, Cundinamarca, y Los Santanderes), obteniendo de ellas una capacidad instalada de 4.8 millones de toneladas por año.

La problemática en la empresa se encuentra en la sección de trituración de piedras de yeso y caliza, pues en este proceso se presenta altos niveles de polución debido a las partículas producidas en esta tarea. Para resolver este problema se necesita limpiar el aire al separar estas partículas y luego retornarlas al proceso para evitar pérdidas de material.

Sumado a este problema la empresa ya cuenta con un sistema de filtración de aire contaminado en el área de trituración de yeso y caliza para disminuir los niveles de contaminación en esta sección, pero dicho sistema es obsoleto e ineficaz y por supuesto no cumple con los requerimientos ambientales establecidos, debido a que cuando fue diseñado e implementado la producción de cemento en la planta era

muy pequeña comparado con la que hoy que cuenta con una producción de triturado de yeso de 100 Ton/hora.

1.2 JUSTIFICACION DE LA SOLUCIÓN

Por medio de la propuesta de rediseño de un sistema óptimo de desempolvado por filtros de mangas, La planta CEMEX Bucaramanga contará en su sección de triturado con un proceso de filtrado del aire contaminado que sea eficiente y a su vez maneje índices de polución de partículas inferiores a los exigidos por la norma ambiental vigente. Para la empresa el filtrado adecuado constituye un ahorro de costos, pues las partículas que se escapan al medio representan pérdidas en materia primas para la elaboración del cemento como producto final. La viabilidad de su posterior implementación por parte la compañía exige desarrollar una propuesta de solución ingenieril que considere todos los parámetros operativos del proceso.

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1 Objetivo General

Por medio de la propuesta de rediseño de un sistema óptimo de desempolvado por filtros de mangas, La planta CEMEX Bucaramanga contará en su sección de triturado con un proceso de filtrado del aire contaminado que sea eficiente y a su vez maneje índices de polución de partículas inferiores a los exigidos por la norma ambiental vigente.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar un informe de auditoría que consiste en la caracterización del sistema actual mediante el levantamiento de datos en el área de trituración, como son:

- velocidades de transporte en flujo de ductos.
- Velocidades de captura.
- Pérdidas de presiones.
- Capacidades del sistema neumático.
- Detección de fugas.

Identificando así la situación actual de cada uno de los componentes del sistema desempolvador del área de trituración que posee la planta CEMEX.S.A Bucaramanga evaluando las emisiones según lo dispuesto en el artículo 72 de la Resolución 909 del 5 de junio del 2008. Enumerando los problemas, adjuntando recomendaciones prácticas y económicas que justifique el rediseño del sistema de desempolvado.

- Rediseñar el sistema de transporte del aire contaminado desde la sección de trituración de piedras de yeso y caliza que cumpla con los requerimientos de funcionamiento del sistema desempolvador con sus respectivos subsistemas:
 - Recuperación del material particulado conformado por el filtro de mangas.
 - Extracción localizada constituida por campanas.
 - Línea de aire comprimido.
 - Transporte neumático conformado por ciclones, ventiladores entre otros.
 - Descarga compuesto por sinfines, válvulas de clapeta.

Que a su vez reduzca la concentración de PPM de las emisiones del sistema a niveles permitidos por la resolución 0909 del 2008 y normas ambientales formuladas en la guía minero ambiental de la industria del cemento, redactada por el ministerio de minas y energía, ministerio de ambiente,

vivienda y desarrollo territorial y el ICPC (Instituto Colombiano de Productores de Cemento).

- Generar el modelamiento en 3D estructural en Solidworks del proyecto para su posterior implementación por parte de la empresa, permitiendo dar mayor claridad a los operarios del montaje y facilitando la coordinación de actividades de izaje del sistema.
- Entregar manual de funcionamiento instructivo de operación y mantenimiento del nuevo sistema desempolvador basado en el ciclo de vida del proyecto.

2. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

En primer lugar, se realizara el levantamiento del sistema de extracción de polvos existente en la planta de la sección de trituración de la misma. Se identificarán fuentes de polución, se emplearan instrumentos de medidas como: cintas métricas, decámetro, anemómetros, manómetros y tubos Pitot para determinar longitudes de los tramos de tubería, espacios de la edificación, presiones y caudales entre otras características. Con toda la información anterior recogida se hará uso del software SOLIDWORKS, se realizaran diagramas unifilares y planos isométricos de los sistemas de aspiración y posteriormente se revisaran las prestaciones nominales de ventilador y características del filtro de mangas.

Para realizar el diagnostico de las fallas se hará necesario conocer las velocidades del transporte de aire en los ductos. Esto se realizara en puntos estratégicamente seleccionados dentro del sistema empleando manómetros digitales; realizando 5 tomas de presiones dinámicas por cada punto de medición donde a partir de estas presiones se obtendrán las velocidades de transporte. También será de mucha importancia la observación detallada de los focos donde procede el material fugitivo. Además se evaluara los estados de la ductería y otros elementos del sistema de desempolvamiento presente en la planta.

Una vez estudiado la situación actual y diagnosticada las fallas procedentes de la auditoría técnica, se propondrán mejoras o modificaciones presentes en la etapa de rediseño con el objetivo de mejorar la efectividad de la colección de polvos en el área de trituración. En esta etapa de rediseño se tendrá especial cuidado de las condiciones espaciales del lugar con el fin de sortear obstáculos como: maquinaria, paredes, tuberías y ductos de los tramos ya existentes. Evitando desviaciones y longitudes excesivas de los tramos, lo cual induciría considerablemente en las perdidas de presión de esta manera cuantificando longitudes, codos y bifurcaciones de cada tramo del rediseño.

Siguiendo a la etapa de selección de ventiladores y colectores de polvo en este caso filtro de mangas, se seleccionaran con el caudal total de aire del sistema. Siendo uno de los objetivos de este proyecto, mantener los elementos o capacidades existentes (filtro y ventiladores). Se procederá a verificar si las prestaciones de estos dispositivos cumplirán con las nuevas exigencias del rediseño del sistema de desempolvado y en el caso de no satisfacer, se procederá a cotizar nuevos equipos para su posterior compra por parte de CEMEX.

Finalmente se realizaran los planos de fabricación y los planos de instalación del rediseño utilizando la herramienta informática SOLIDWORKS. También se desarrollara un pequeño balance de costos del proyecto y por último se elaborará un manual de funcionamiento y operatividad del nuevo sistema de desempolvado.

3. MARCO TEORICO

En este capítulo se presenta un resumen de los conceptos teóricos referentes a los sistemas de desempolvado, y sus componentes, ventilación industrial localizada, control y manejo de material particulado. Esto con el fin de guiar al lector a lo largo de la ejecución del proyecto.

3.1 GENERALIDADES DEL MANEJO DEL POLVO

3.1.1 Definición de polvo. El polvo es definido por la Administración de Seguridad y Salubridad Minera (MSHA)[§] de Estados Unidos como “sólidos finamente divididos que se pueden esparcir en el ambiente a partir de su estado original sin ningún cambio físico o químico aparte de la fractura”. Esta es una manera de decir que polvo es el “material que, cuando se altera puede entrar en el aire y permanecer ahí” [1]

Tabla 1. Análisis granulométrico de los polvos emitidos por una planta cementera

TIPO DE PARTICULA	PORCENTAJE	TAMAÑO DE PARTICULAS	CONFIGURACION DE PARTICULAS
I	7%	60 micras	Partículas sedimentables que caerán muy cerca de la planta con casi independencia de la altura de la chimenea.
II	25%	Entre 1-10 micras	Dichas partículas serán transportadas por el aire a muy largas distancias.

[§] Mine Safety and Health Administration since 1978

III	3%	submicronicas	Este tipo de partículas sería las más perjudiciales, producen neumoconiosis.
-----	----	---------------	--

Fuente: Enseñat .Alfonso. La industria del cemento dentro de la problemática de la contaminación atmosférica [online]

3.1.2 Mediciones de polvo. Los métodos de medición de polvo usados en la industria cementera son:

- Muestreo básico de polvo de ubicación específica: Este muestreo de polvo de ubicación específica usualmente se realiza colocando muchos recipientes o contenedores en un área polvorienta y dejándolos ahí en un periodo de tiempo específico. Entonces la cantidad de polvo que se asienta en los contenedores se pesa. Este muestreo normalmente se hace antes y después de que se implementa una solución de control de polvos.

Figura 1. Muestreo básico de polvo de ubicación específica



Fuente: Marshal. Daniel. FOUICATIONS. Illinois

- Lecturas de opacidad visual: Una lectura de opacidad visual es realizada por un inspector autorizado y capacitado que observa el área durante una cantidad establecida de tiempo y documenta la cantidad de polvo visible en el aire. Aunque a este método se le ha acusado de ser subjetivo, esta exhaustivamente reglamentado y es generalmente aceptado entre las agencias de protección ambiental de Estados Unidos.
- Dispositivos electrónicos portátiles de medición de polvo: La tecnología siempre se está esforzando para hacer más portátiles los métodos de medición de “alta tecnología” estos dispositivos pueden medir la concentración, tamaño de partículas y muchas otras propiedades del polvo [2].

Figura 2. Dispositivos electrónicos portátiles de medición de polvo.



Fuente: Marshal.Daniel.FOUNDATIONS.Illinois

3.2 FUNDAMENTOS DE MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADOS A SISTEMAS DE DESEMPOLVADO

Básicamente son dos los conceptos de mecánica de fluidos que gobiernan el flujo de aire en los sistemas de ventilación industrial: la conservación de la masa y la conservación de la energía

3.2.1 Conservación de la masa. El principio de la conservación de la masa se expresa a través de la ecuación de continuidad. Esta señala que la masa por unidad de tiempo que pasa a través de cualquier sección del ducto es constante, si el flujo es permanente:

$$\rho VA = \text{Constante} \quad (01)$$

La cantidad de aire de aire o volumen por unidad de tiempo que fluye a través de un determinado punto en un ducto, se define como flujo volumétrico o caudal de aire

$$Q = VA \quad (02)$$

Para un fluido incomprensible, la densidad es constante en todos los puntos; lo que conlleva que el flujo volumétrico permanezca constante en el ducto ($Q=\text{constante}$).

3.2.2 Conservación de la energía. La ecuación de Bernoulli describe el comportamiento de un fluido bajo condiciones variantes; para fluidos incomprensible, permanente y sin rozamiento en una línea de corriente esta ecuación tiene la siguiente forma:

$$p + \frac{\rho V^2}{2} + \rho g z = \text{constante} \quad (03)$$

El término ($\rho g z$) de la ecuación 3, es depreciado cuando se trabaja en los sistemas de ventilación industrial, en vista de que el fluido de trabajo es aire y este posee una densidad relativamente pequeña ($1.28 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$)

3.2.3 Análisis de presiones en una sección de ducto. En los ductos de ventilación industrial observamos el comportamiento de dos presiones que actúan a lo largo los tramos de tuberías y ductos:

- Presión dinámica (V_p): Es la fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire sobre todo objeto que se oponga a su movimiento. Está directamente relacionada a la energía cinética del fluido

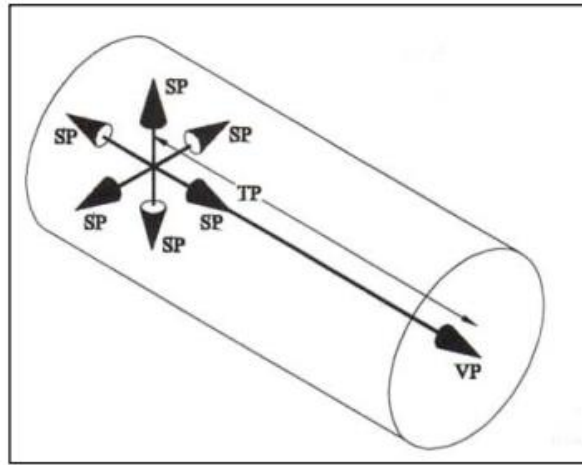
$$V_p = \frac{\rho V^2}{2} \quad (04)$$

- Presión estática (S_p): Es la presión tangencial que ejerce un volumen de aire dentro del ducto, así sea que esté en movimiento o no. Usualmente, es

medida con un manómetro y puede ser positiva o negativa dependiendo de que sea mayor o menor a la presión atmosférica

- Presión total: Representa la suma de la presión estática y presión dinámica

Figura 3. Esquema vectorial de presiones.



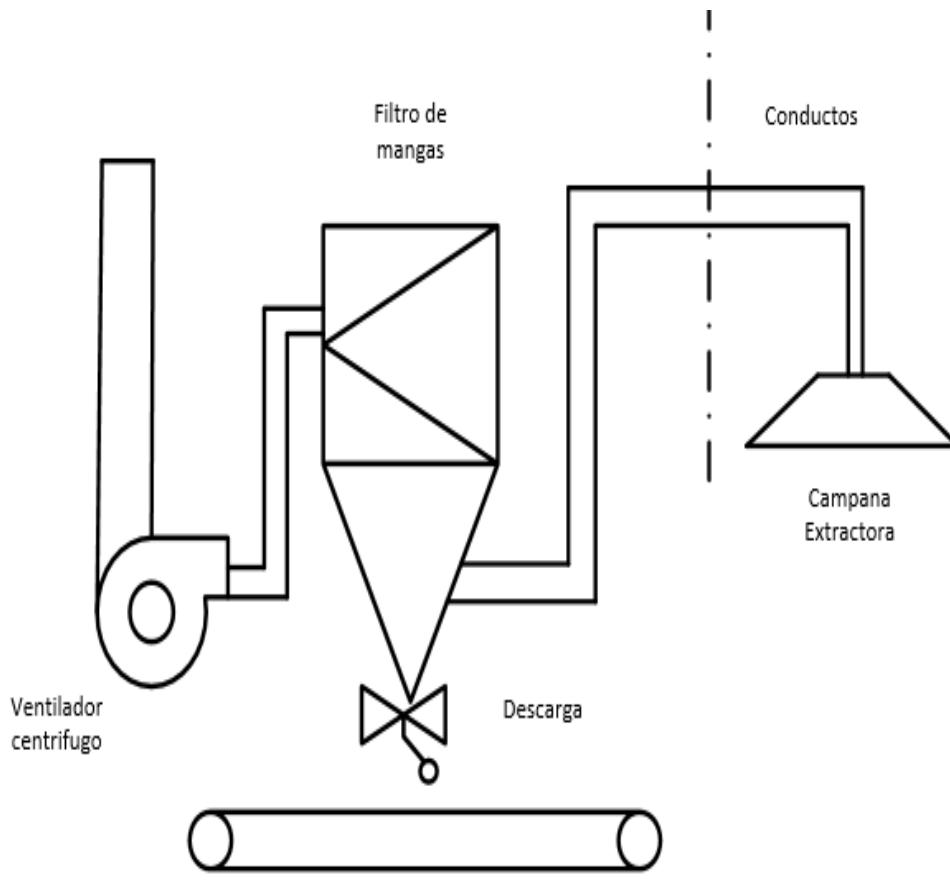
Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Committee on Industrial Ventilation.

3.3 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVOS

Un sistema de desempolvado también llamado de colección de polvos generalmente está conformado por 4 elementos básicos, ver figura 4.

- Campanas de extracción localizada
- Ductos de transporte de aire contaminado
- Dispositivos de colector de polvos: Filtro de mangas, Ciclones
- Turbo máquina: Ventilador, Sopladores

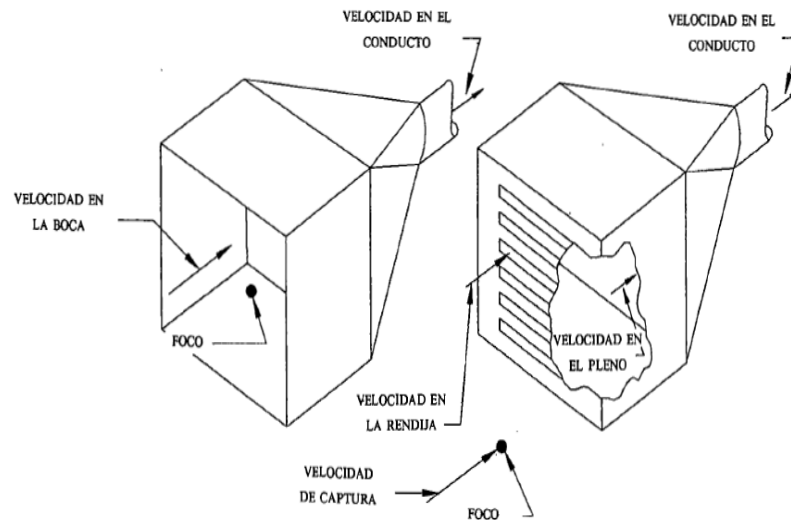
Figura 4. Sistema de desempolvado.



Fuente: Autores

3.3.1 Campanas de extracción. Los sistemas de extracción localizada se diseñan para captar y eliminar los contaminantes antes de que se difundan al ambiente general del local de trabajo. La campana es el punto de entrada al sistema de extracción, La función esencial de la campana es crear un flujo de aire que capture eficazmente el contaminante y lo transporte hacia la campana.

Figura 5. Velocidades en campanas de extracción.

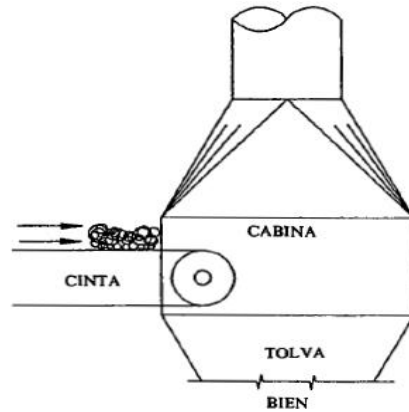


Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Committee on Industrial Ventilation

3.3.2 Tipos de campanas de extracción. A continuación se muestran los diferentes tipos de campanas.

- Tipo cabina: Las cabinas son campanas que encierran total o parcialmente el proceso o punto de generación del contaminante. Una cabina completa es donde no existe aberturas.

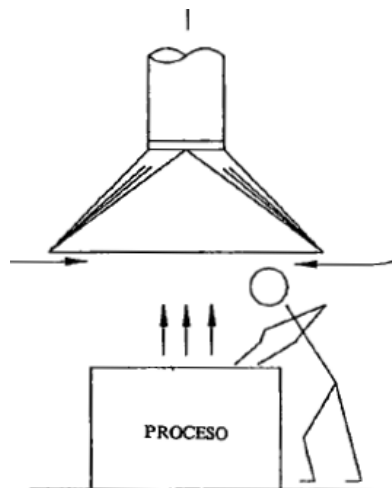
Figura 6. Campana tipo cabina



Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Committee on Industrial Ventilation

- Campanas exteriores: Se denomina campana exterior a las que se encuentran situadas adyacentemente al foco de contaminante pero sin encerrarlo, cuando el contaminante es un gas, vapor o polvo fino y no es emitido a una velocidad significativa, la orientación de la campana no es crítica.

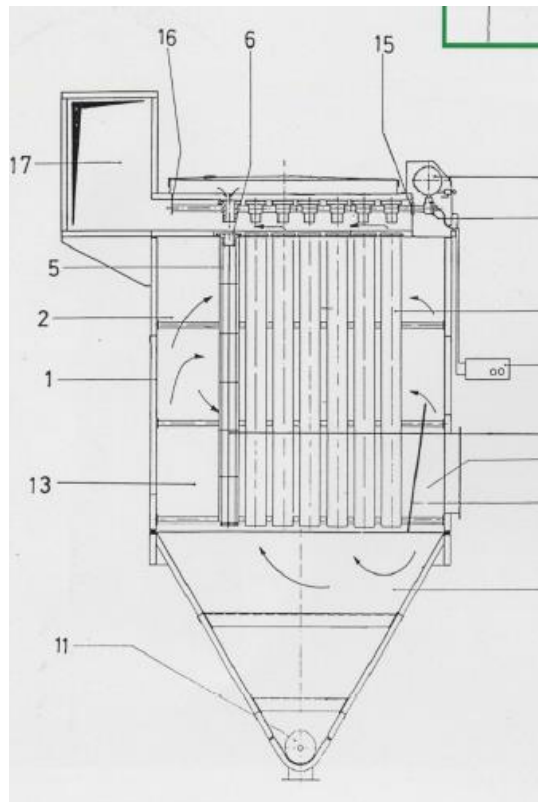
Figura 7. Campana abierta.



Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Committee on Industrial Ventilation

3.3.3 Filtro de mangas. Los filtros de mangas o también conocido filtros de talegas son los equipos depuradores de aire más utilizados en la industria cementera, su función consiste en separar las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa haciéndolo pasar a través de un tejido. Estos tejidos eliminan las partículas mediante la obstrucción, impacto e interceptación. La capacidad de la tela para dejar pasar aire a su través es la “permeabilidad” que se define como el volumen de aire que pasa a través de la unidad de superficie en la unidad de tiempo con una diferencia de presión de 12,5 mmcda.

Figura 8. Filtro de mangas.



Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Committee on Industrial Ventilation

Los gases cargados de polvo llegan a través de la entrada de aire sucio (12) a la cámara de filtración (13). Un deflector (14) provoca la caída de los polvos gruesos hacia la tolva (10), descargando de trabajo el sistema de filtración e impidiendo la rotura de mangas por abrasión directa.

El aire atraviesa las mangas (3) de fuera adentro y el polvo queda depositado en el exterior de las mismas. Las mangas se disponen en filas (4), cada manga va montada sobre un armazón metálico o jaula (5). Las jaulas van colgadas de las toberas interiores de sujeción (6).

Así, toda la carcasa (1) constituye una gran cámara de aire sucio (2). El polvo desprendido según el sistema de limpieza luego descrito descarga a la tolva y los órganos de extracción de polvo (11). El aire limpio atraviesa las mangas y sale por el canal de aire limpio (17) hacia el exterior, generalmente succionado por el ventilador de tiro.

3.3.4 Ductos de transporte de aire contaminado. La función de los ductos de los sistemas de desempolvado es transportar el aire contaminado desde las campanas de extracción de polvo hasta el depurador de estos, donde el aire descontaminado es enviado al medio ambiente. En los sistemas de desempolvado es muy importante en la etapa de diseño proponer una velocidad de transporte que no se tan pequeña como para generar sedimentación de material, ni tan grande por que produciría deterioro excesivo de la tubería por abrasión y a su vez un gasto adicional energético en el ventilador.

Figura 9. Sistema de extracción localizada



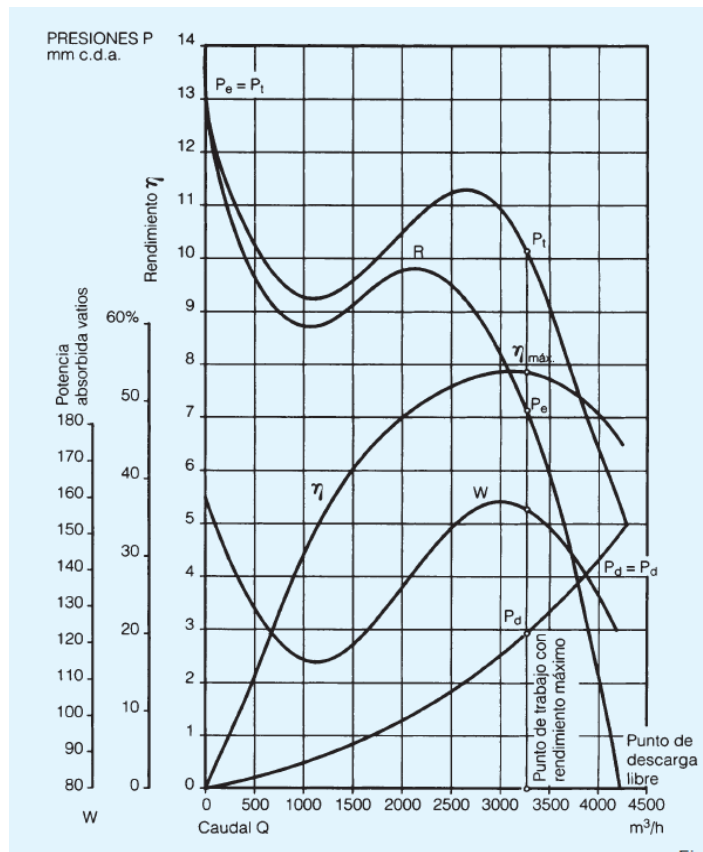
Fuente: GORCO. Filtros de mangas transporte neumático

3.3.5 Ventiladores. Los ventiladores son turbo máquinas que se utilizan en los sistemas de desempolvado para producir una diferencia de presión desde la campanas de extracción localizada pasando por la tubería y equipos depuradores. Es un componente importante en estos sistemas ya que imparte la energía necesaria al aire contaminado para vencer todas las pérdidas de resistencia al flujo del sistema.

3.3.6 Curvas Características De Ventiladores. El ensayo de ventiladores tiene por objeto determinar la capacidad del aparato para transferir la potencia al aire que mueve. El ventilador se hace funcionar a un régimen de giro contante, impulsando diferentes valores de caudal, según sea la pérdida de carga que debe vencer. La curva característica de un ventilador se obtiene dibujando en un eje de coordenadas distintos valores caudal-presión, obtenidos mediante ensayos de laboratorio.

Las experiencias prácticas demuestran que no es suficiente conocer el caudal que es capaz de suministrar un ventilador a descarga libre (sin obstrucciones), para poder caracterizarlo. Es necesario conocer que caudales irán proporcionando según las distintas pérdidas de carga que se deban vencer.

Figura 10. Curva característica de un ventilador



Fuente: Escoda Salvador. Manual práctico de ventilación

El comportamiento de un ventilador viene indicado en la figura 10 gráfico de caudal contra presión, este gráfico es preparado en los laboratorios del fabricante de ventiladores, al ensayar esta máquina desde una posición de total estrangulamiento en su descarga, hasta la posición opuesta, es decir descarga libre del aire. Se denomina unidad de ventilación al conjunto ventilador, motor y transmisión.

3.4 PROCESO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESEMPOLVADO DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA.

En este capítulo mostramos los parámetros de diseño general para sistemas de desempolvado, con las bases teóricas para tener en cuenta en los posteriores capítulos de la auditoría técnica, mejoras y rediseño del sistema actual. Toda la información a continuación la referenciamos de 2 fuentes esenciales, que son: el manual de ventilación industrial y el manual técnico de sistemas de colección de polvos de la CEMEX S.A del departamento de tecnología mecánica basado en su experiencia sobre estos temas.

3.4.1 Consideraciones del fluido. A continuación se muestran las consideraciones del fluido.

- Se considera que el aire es incompresible: Si la pérdida global de presión en el sistema es superior a 500 mm dca la densidad del aire cambiaría aproximadamente el 5%. El caudal también se modificará. Todos los fluidos son comprensibles hasta cierto grado.
- Se desprecian los efectos del intercambio térmico: si la temperatura dentro de los ductos es significativa diferente al aire de los alrededores del ducto. Se produciría intercambio de calor y si serán tomadas correlaciones de diseño.

- Se supone que el aire es seco: La presencia del vapor de agua reduce la densidad del aire. Por lo que deben efectuarse una corrección para tener en cuenta este efecto, se deben hacer un análisis Psicométrico.
- Se desprecia el peso y volumen del contaminante presente en la corriente de aire: Si existe altas concentraciones de solidos o cantidades significativas de gases distintos al aire deben efectuarse las correcciones para tener en cuenta su efecto.

3.4.2 Criterios de diseño. A continuación desarrollamos de un recuento de los criterios de diseño que deben cumplir los sistemas de desempolvado, para su óptimo funcionamiento creando una guía práctica en las evaluaciones de sistemas ya implementados.

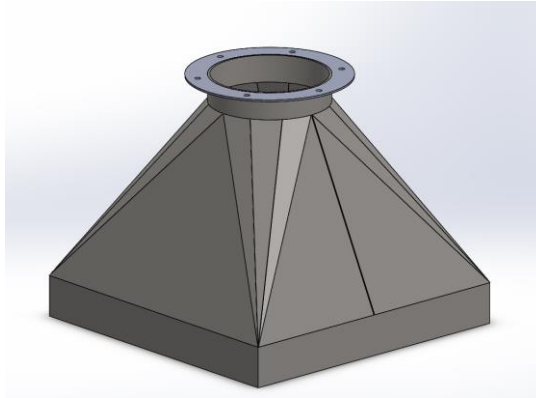
Tabla 2. Aspectos generales de diseño de sistemas de desempolvado

CRITERIO DE DISEÑO	JUSTIFICACION
1. El diseño del ducto debe estar basando en una velocidad mínima de 18 m/s (4500 fpm)	Velocidades menores de 18 m/s generaran sedimentación en los ductos.
2. La máxima velocidad del gas, entrando a la tolva de colector de polvos debe ser no más que 20 m/s (4000 fpm)	La velocidad a la entrada del filtro de mangas debe ser tal que el aire a golpear los deflectores del mismo, generen una distribución uniforme entre las cámaras de mangas
3. La velocidad máxima de gases a través de las mangas deberá ser de 1,52 m/s (300 fpm) máxima	Velocidad óptima para el proceso de filtración, ya que si la velocidad es excesiva abra un desgaste en el material filtrante de mangas, y gasto innecesario de energía por otra parte una velocidad muy baja crearía ineficiencia de filtración.
4. Velocidades de captura en campanas entre 1 m/s a 2.5 m/s	Una velocidad excesiva de captura generara remolinos en la vena contracta

	de la campana lo que producirá aumento de pérdidas de energía, disminución de material captado, tener velocidades de captación generan una captación uniforme.
5. Evitar en lo posible tramos de tubería horizontal, pero si el último recurso es tramo horizontal, utilizar velocidad de transporte mínima de 23 m/s	Una tubería horizontal se desgastaría más rápido y a su vez generaría sedimentación de material obstruyendo tubería.
6. La inclinación mínima en los ductos de desempolvo debe ser 60° medida desde la horizontal, para tramos de subidas.	Un ángulo de inclinación incorrecta nos generara sedimentación del sistema de desempolvado, aumentando las pérdidas de carga haciendo trabajar el ventilador en zonas de inestabilidad.
7. La inclinación mínima de los ductos de desempolvo entrando a la tolva del filtro de mangas y tramos de bajadas ángulo mínimo recomendado de 45 °	Un ángulo de inclinación incorrecta nos generara sedimentación del sistema de desempolvado, este ángulo recomendado en las bajadas de tramos es recomendado por que la gravedad ayuda en este caso al transporte de polvos colectados.

3.4.3 Criterios en el diseño de campanas de captura. Las campanas de extracción localizadas son los componentes en un sistema de desempolvados encargados de captar el polvo creado en los procesos productivos que generan polución de material particulado hacia el ambiente. Se enumeran a continuación los criterios de diseño e implementación que deben cumplir las campanas de extracción localizada:

Figura 11. Campana de extracción localizada



- La entrada de la campana debe estar ubicada de tal manera que haga un patrón de movimiento del fluido a captar hacia ella.
- Se pueden colocar aletas dentro de la campana para llevar el flujo hacia el ducto con menores pérdidas.
- La campana debe ser ubicada lo más cercano posible a la fuente de contaminación.
- El diseño de la campana de captura en los puntos de succión deberá otorgar el tiro suficiente para levantar las partículas que están en combinación con el aire ambiente pero sin capturar el material que hace parte del proceso productivo.

3.4.4 Pérdidas de presión en campanas. Cuando el aire entra en la campana, pérdidas dinámicas ocurren, causando caídas de la presión total, están dadas por:

$$\Delta P = c_o P_v \quad (05)$$

Donde:

ΔP = Pérdida en la entrada de la campana

c_o = Factor de pérdida (En función de la geometría)

P_v = Velocidad de presión

Para hallar el valor absoluto de la presión estática en la succión de la campana es el siguiente, aplicando principios de mecánica de fluidos y fundamentado en el manual de ventilación industrial.

$$P_{st} = P_v + \Delta P_e \quad (06)$$

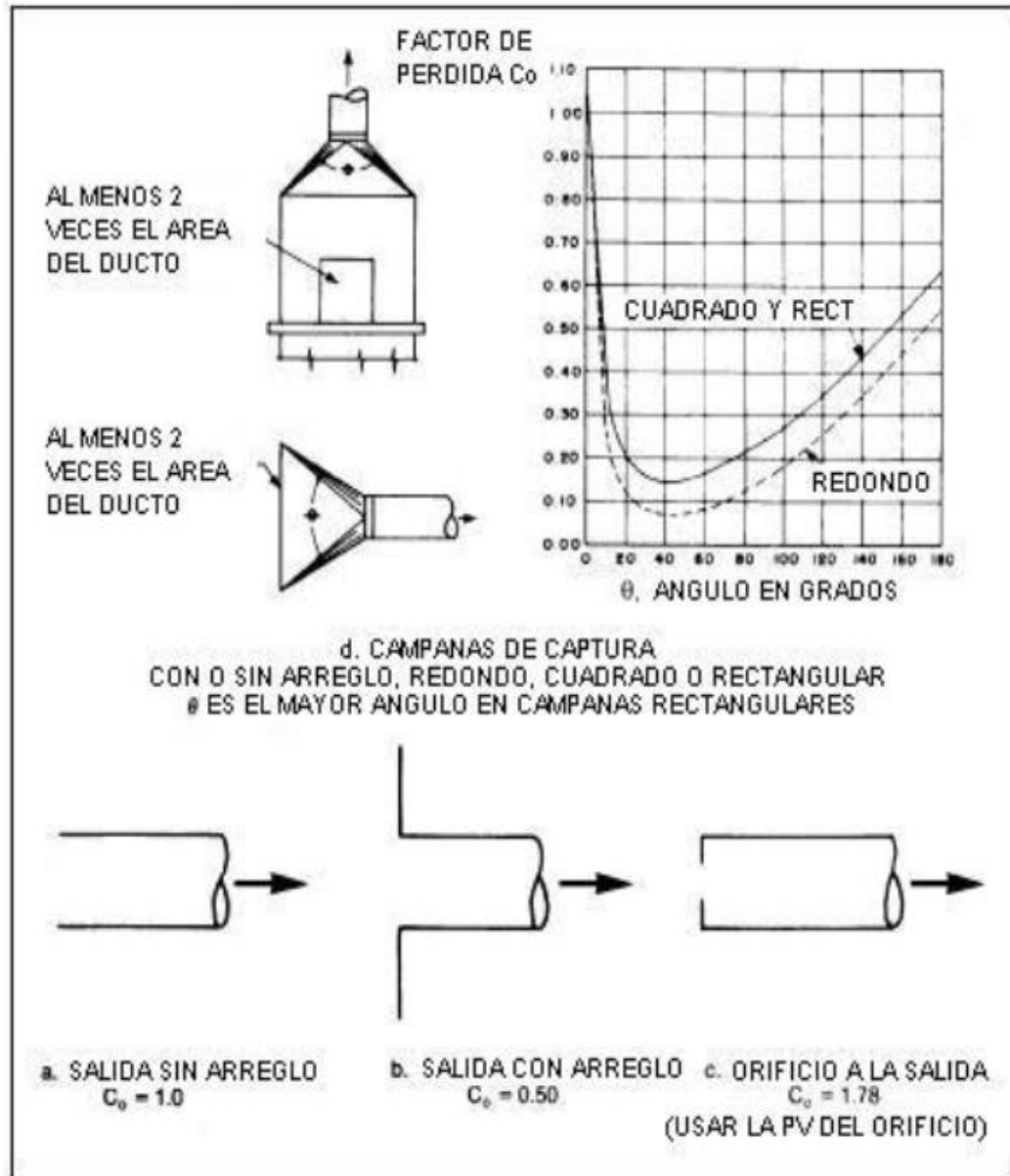
Donde:

P_{st} = *Presion estatica de campana*

Para campanas simples se aplica la formula descrita por el manual de ventilación industrial, en el cual el factor de perdida se encuentra en tablas donde se obtienen de acuerdo a las dimensiones y forma de la campana.

$$P_{st} = (1 + C_o)P_V \quad (07)$$

Figura 12. Coeficientes de pérdidas en campanas colectoras



Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Committee on Industrial Ventilation

3.4.5 Dimensionamiento de campanas de extracción localizada. Para el diseño de campanas de captura, se tiene que considerar que la salida de ésta y la entrada al ducto, la velocidad de transporte de las partículas deberá llegar a 18 [m/s] como mínimo, siendo esta la velocidad promedio para la colección de polvos en la industria cementera, provenientes en los procesos de molienda y trituración. Además cumpliendo con los requerimientos de velocidad de captura enumeradas en la figura 28.

Para el dimensionamiento de las campanas que cumpla con los requerimientos de diseño mencionados en el párrafo anterior nos basamos en el criterio CRTIM31201/13900 de diseño de colectores de polvo de CEMEX S.A, donde en función del diámetro de tubería del ramal, se dimensiona la campana. Cumpliendo las necesidades de caudal y velocidad de captura.

4. AUDITORIA DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO DE LA SECCION DE TRITURACION DE LA PLANTA CEMEX.SA BUCARAMANGA

4.1 DESCRIPCION GENERAL DE SISTEMA ACTUAL DE DESEMPOLVADO


El actual sistema de desempolvado, presente en dos pisos de los cuatro niveles de la sección de trituración, cuenta con 3 puntos de captación localizada (campanas) de material particulado. Dos de estas campanas se encuentran en el tercer nivel donde su función es captar la polución proveniente de la zaranda vibratoria, que clasifica el material fino del grueso proveniente del material de la trituradora de mandíbulas conocida en la planta como trituradora primaria. Los otros dos focos de generación de material particulado que está captando el sistema actual de desempolvado, están a nivel del sótano donde termina el proceso de trituración de las piedras de yeso y caliza, Y siguen el proceso en la cadena productiva transportando el material por medio de la banda N°2 ver figura 13.

Figura 13. Sección de trituración, Planta CEMEX S.A.



4.2 CARACTERIZACION DEL FILTRO DE MANGAS Y VENTILADOR IMPLEMENTADO EN LA SECCION DE TRITURACION

Tabla 3. Características del filtro actual

	
Características del filtro de mangas actual	Unidades
Tipo de limpieza	Pulse Jet
Número de bolsas	50
Diámetro de bolsas (ft)	0,525
Longitud de bolsas (ft)	10,335
Área filtrante (ft^2)	851,73
Cara sucia de bolsa	Exterior
Parámetros medidos del punto de operación del ventilador actual*	Unidades
Caudal del ventilador (cfm)	3000
Delta de presión (inH2O)	6 inH2O

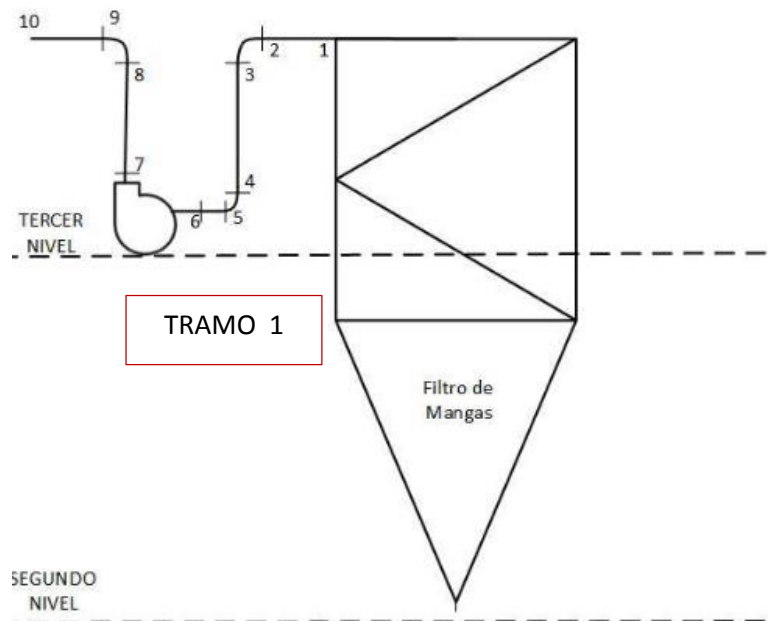
***No se cuenta con información del fabricante**

4.3 CARACTERIZACION DE LA TUBERIA ACTUAL DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO DE LA SECCION DE TRITURACION DE LA PLANTA CEMEX.SA BUCARAMANGA

Se especifican los datos en la sección de trituración junto con los tramos del sistema actual para verificar las velocidades de transporte, presiones e identificar errores de montaje o fallas en el sistema [3].

4.3.1 Tramo 1 desde el filtro de mangas hasta la salida del ventilador.

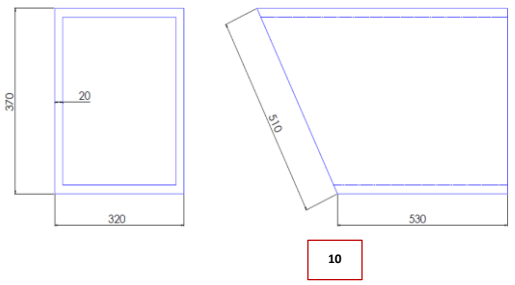
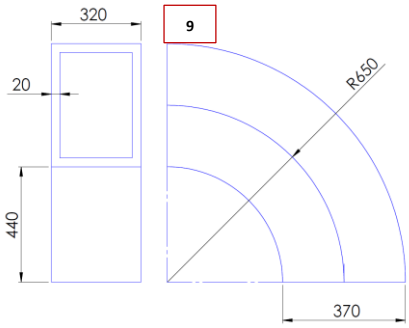
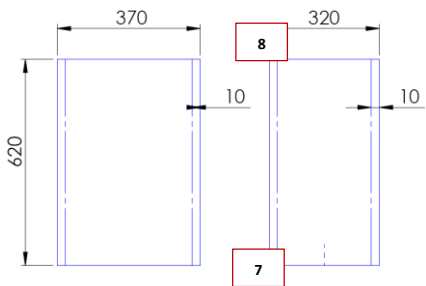
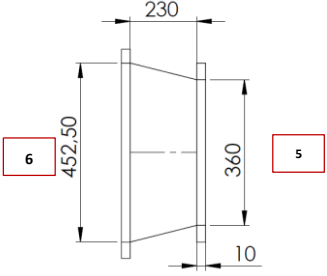
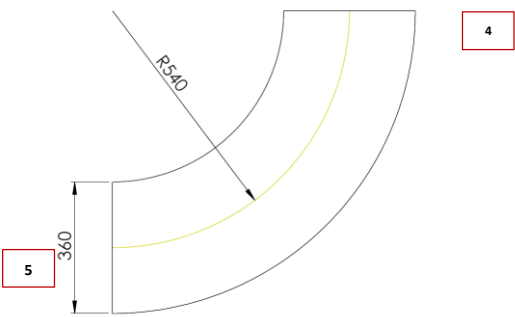
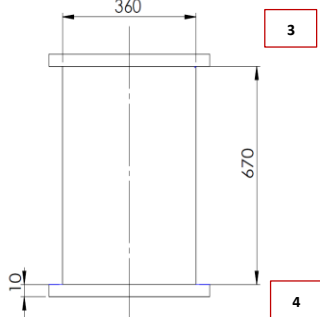
Figura 14. Esquema de conductos Tramo 1

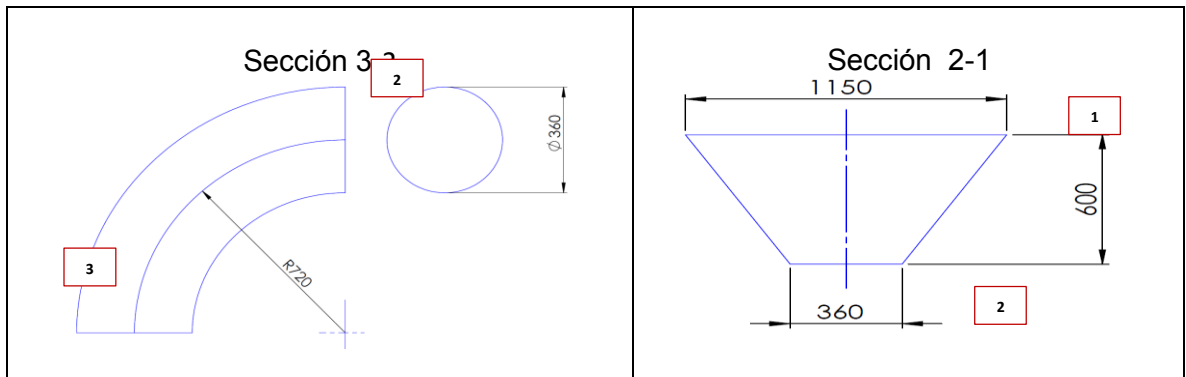


4.3.1.1 Características del tramo 1.

- Longitud de ductos a la salida del ventilador= 2.17[m]
- Área transversal de ductos de ventilación= 0.0924 [m²]
- Longitud de tubería desde filtro de mangas al ventilador=2.72[m]
- Diámetro de tubería desde filtro de mangas al ventilador =0.36[m]
- Tipo de material de los ductos y tubos= Acero galvanizado A36

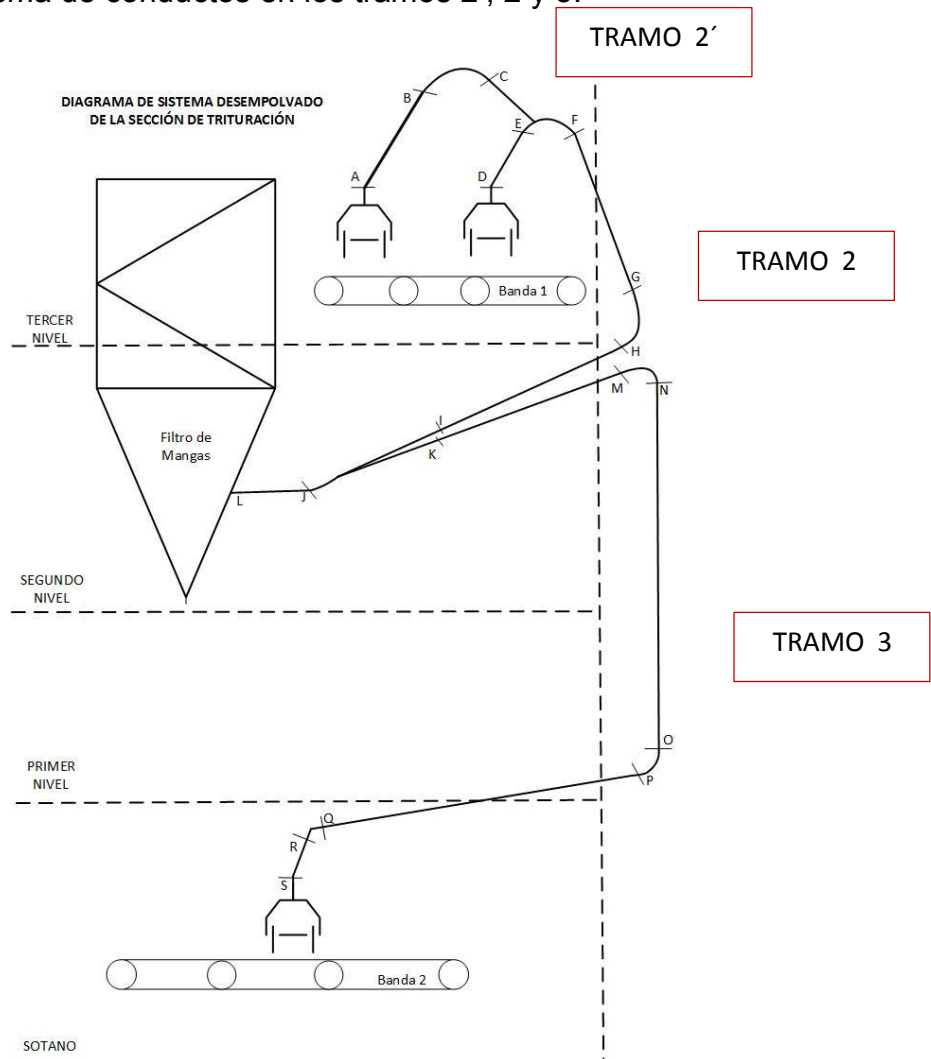
Tabla 4. Conductos y accesorios de tramo 1.

<p style="text-align: center;">Sección 10-9</p>  <p style="text-align: center;">10</p>	<p style="text-align: center;">Sección 9-8</p>  <p style="text-align: center;">9</p> <p style="text-align: center;">8</p>
<p style="text-align: center;">Sección 8-7</p>  <p style="text-align: center;">8</p> <p style="text-align: center;">7</p>	<p style="text-align: center;">Sección 6-5</p>  <p style="text-align: center;">6</p> <p style="text-align: center;">5</p>
<p style="text-align: center;">Sección 5-4</p>  <p style="text-align: center;">5</p> <p style="text-align: center;">4</p>	<p style="text-align: center;">Sección 4-3</p>  <p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">4</p>



4.3.2 Tramo 2 desde el filtro de mangas hasta las campana de zaranda y tramo 2' desde el filtro de mangas hasta final de la banda N°1.

Figura 15. Esquema de conductos en los tramos 2', 2 y 3.



NOTA: Estos dos tramos comparte un ramal común desde la sección I hasta la sección F. con un diámetro de tubería de 0.245 [m]

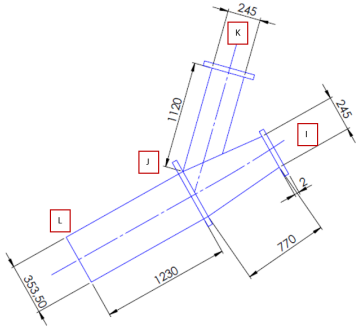
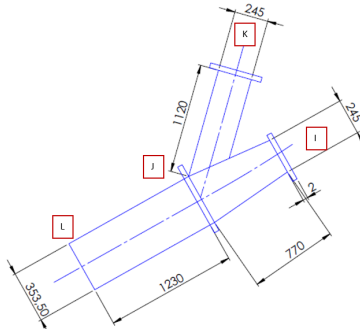
4.3.2.1 Características del tramo 2.

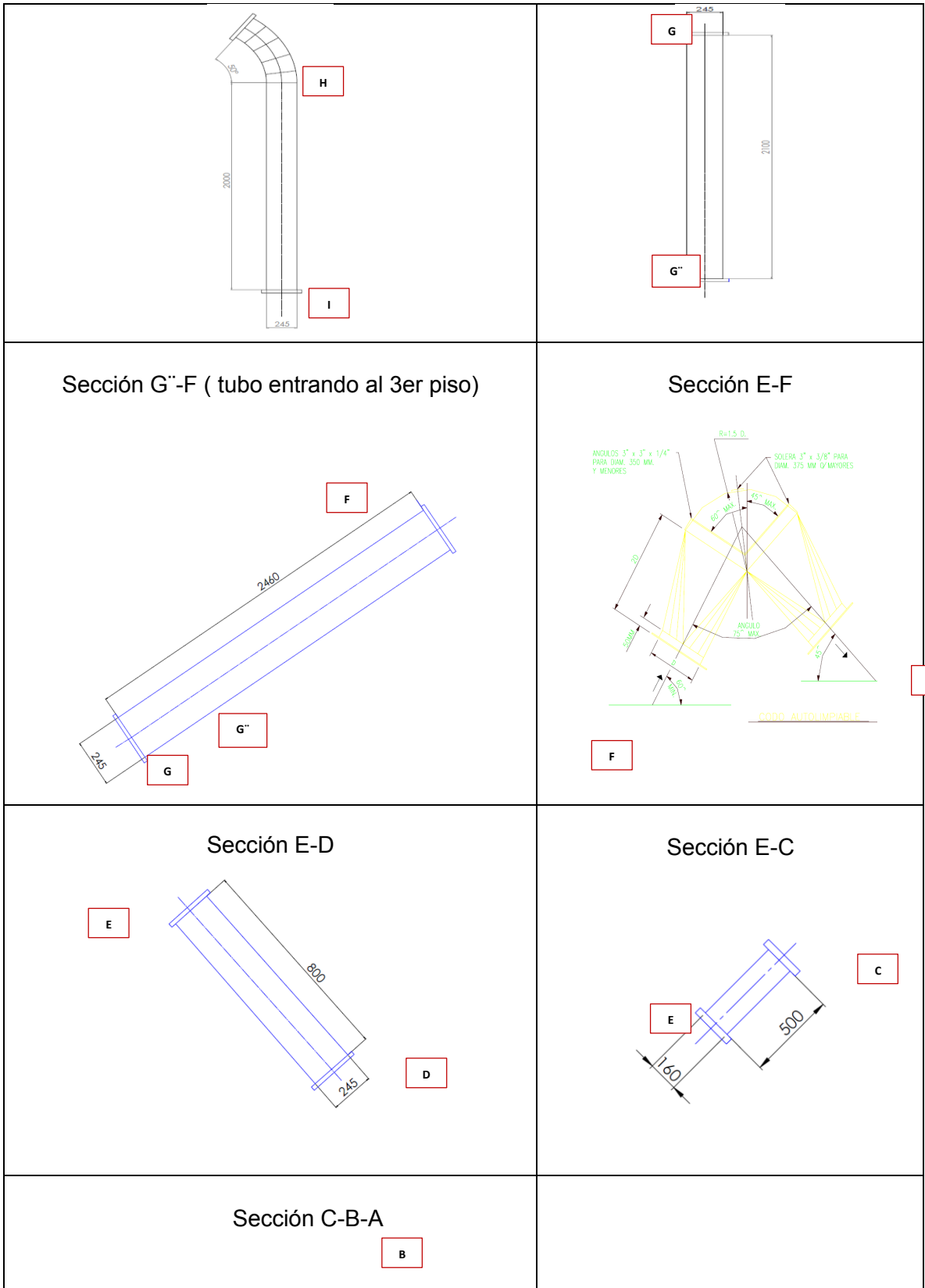
- Longitud de tubería tramo 2= 11 [m] aproximadamente
- Diámetro de tubería tramo 2= 0.245 [m]
- Tipo de material de tubería del tramo 2 = Acero galvanizado A36

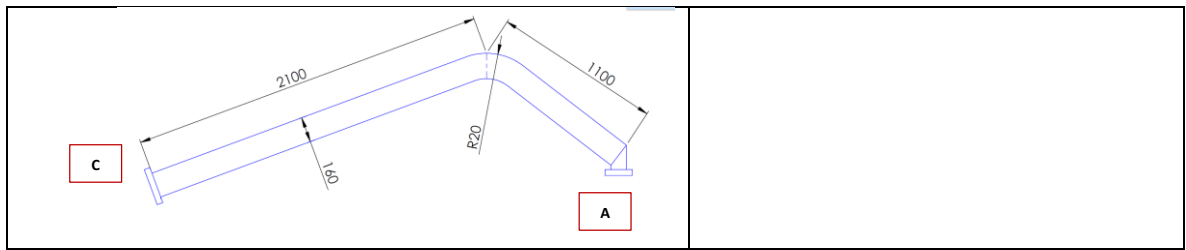
4.3.2.2 Características del tramo 2'.

- Longitud de tubería tramo 2'= 14 [m] Aproximadamente
- Diámetro de tubería tramo 2'= 0.16 [m]
- Tipo de material de tubería del tramo 2'=Acero galvanizado A3

Tabla 5. Conductos y accesorios de tramo 2' y 2.

<p style="text-align: center;">Sección L-J</p> 	<p style="text-align: center;">Sección J-I</p> 
<p style="text-align: center;">Sección I-H-G</p>	<p style="text-align: center;">Sección G-G'' (tubo que se observa afuera de la fachada oriental)</p>





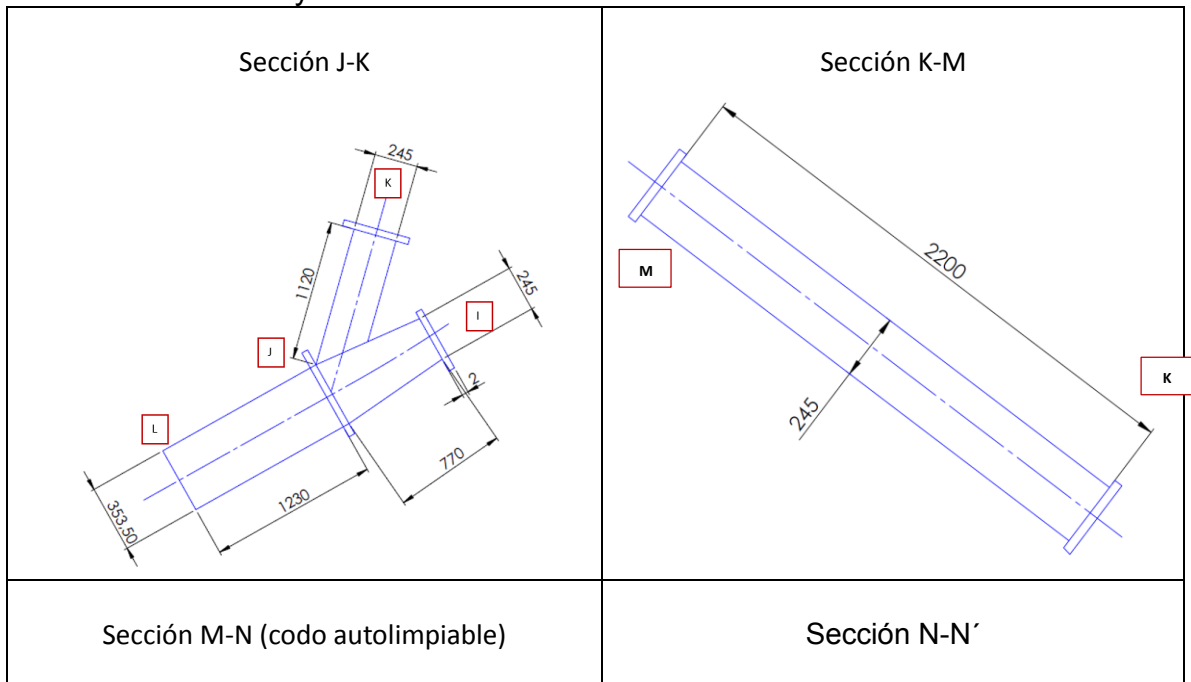
Fuente: Autores

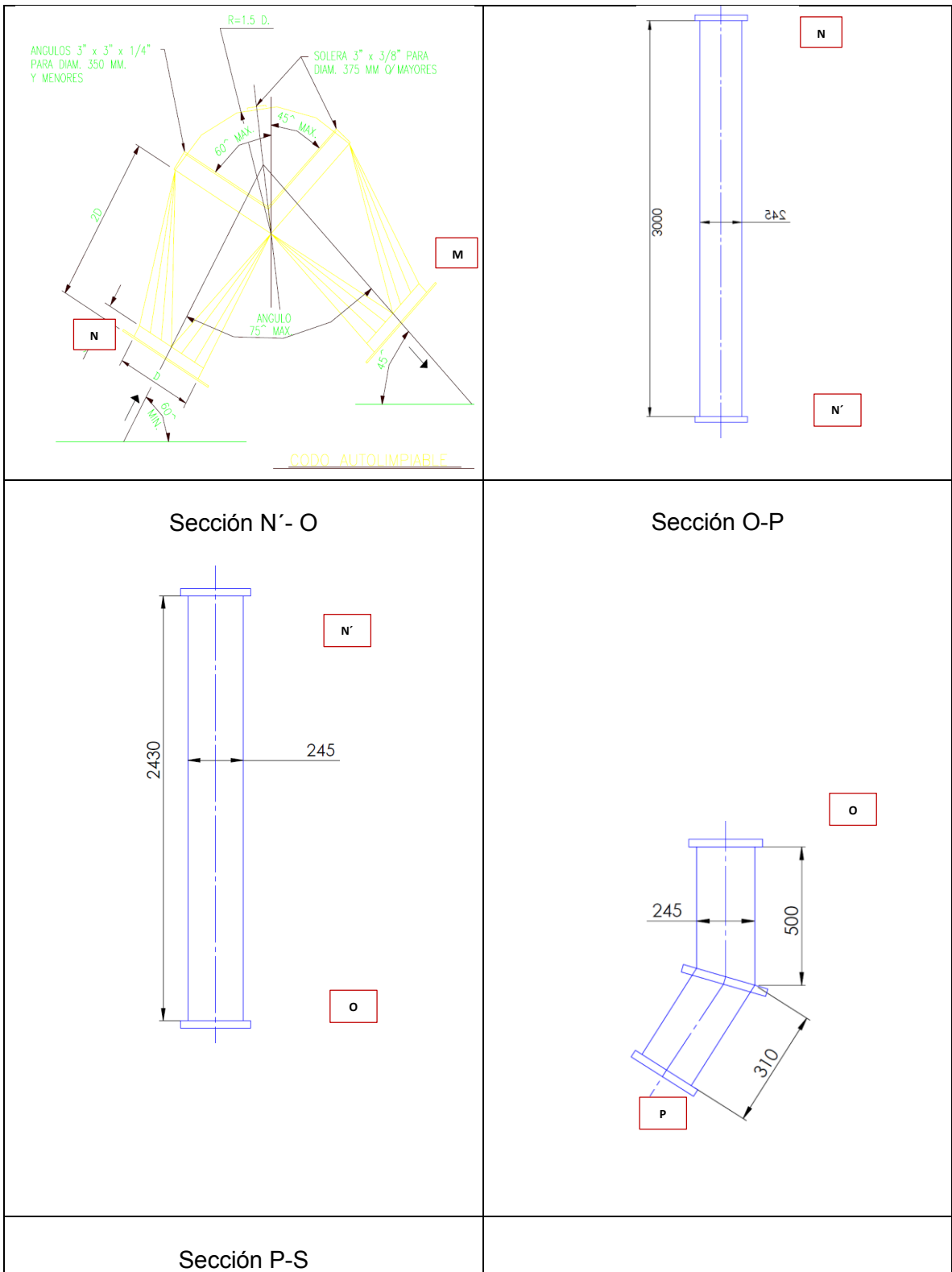
4.3.3 Tramo 3 desde el filtro de mangas hasta la campana del sótano del edificio de trituración.

4.3.3.1 Características de tramo 3.

- Longitud de tubería tramo 3= 15.5 [m] Aproximadamente
- Diámetro de tubería tramo 3= 0.25[m]

Tabla 6. Conductos y accesorios de tramo 3.





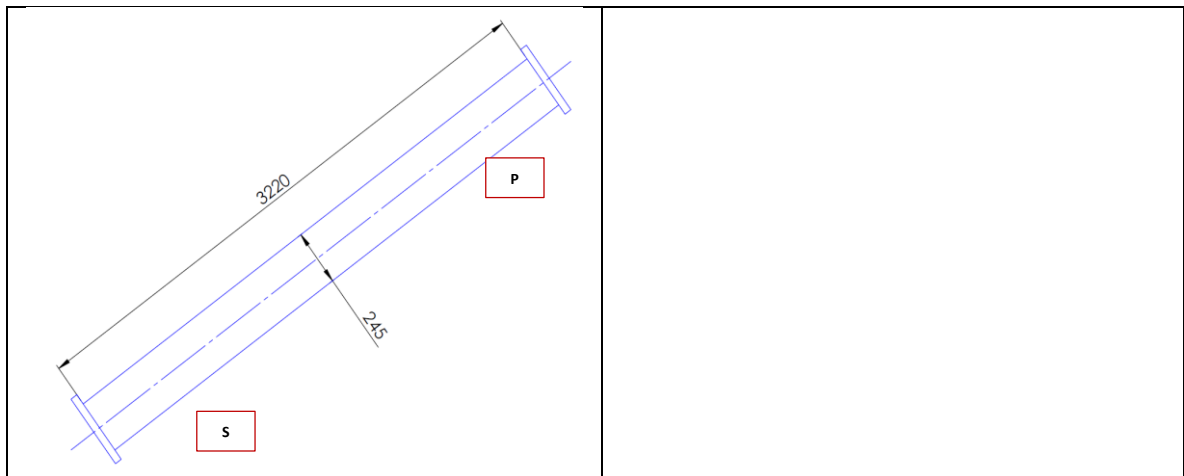


Tabla 7. Puntos actuales de desempolvado

PUNTOS QUE SE ESTAN DESEMPOLVANDO	ANCHO DE BANDA
1.) Zaranda vibratoria	61 [cm ²]
2.) Final de descarga banda N1	61 [cm ²]
3.) Inicio de banda N2 (sótano)	61 [cm ²]

4.4. TOMA DE VELOCIDADES DEL FLUIDO EN EL SISTEMA DE DESEMPOLVADO ACTUAL SECCION TRITURACION PLANTA CEMEX S.A BUCARAMANGA

MEDICIONES DE VELOCIDADES: En el desarrollo de la auditoría técnica del sistema actual se procedió a medir las velocidades según la norma de ventilación industrial** en las campanas de extracción y a la salida del ventilador central del sistema.

** Goberna.Ricardo. Manual de ventilación industrial. 1era Edición. España.1992.p.25

EQUIPO DE MEDICION: La toma me medidas se realizó por medio de un anemómetro de aleta digital marca Dwyer modelo 8904

Figura 16. Anemómetro dwyer modelo 8904.



Fuente: Autores

Tabla 8. Datos técnicos DWYER MODELO 8904

DATOS TECNICOS DEL ANEMOMETRO DWYER MODELO 8904	
Rango	0.4 a 30 [m/s] (80 a5900 pie/min)
Exactitud	± 2% de la lectura ± 0.2 [m/s]
Resolución	0.00 [m/s] (1 pie/min)
Tiempo de respuesta	1 segundo

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE VELOCIDADES DE CAMPANA:

Tabla 9. Mediciones de velocidades de campana

	Toma N1 [m/s]	Toma N2 [m/s]	Toma N3 [m/s]	Toma N4 [m/s]	Toma N5 [m/s]	Toma promedio [m/s]
/						

Salida del ventilador centrifugo	17.1	15.0	15.8	14.3	13.8	15.2
Campana del final de la banda N1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.18
Campana de la zaranda vibratoria	6.0	6.2	6.2	6.7	7.1	6.44
Campana de la banda N2 ubicada en el sótano	4.2	4.5	4.3	4.8	5.2	4.60

NOTA: Estas mediciones de velocidad se sacaron ubicando el anemómetro en la zona donde se produce la vena contracta de la campana unida a la tubería.

RESULTADOS DE LA MEDICIONES DE VELOCIDAD DE CAPTURA EN CAMPANAS

Tabla 10. Velocidad de captura en campanas

	Toma N1 [m/s]	Toma N2 [m/s]	Toma N3 [m/s]	Toma N4 [m/s]	Toma N5 [m/s]	Toma promedio [m/s]
Campana de la zaranda vibratoria	0	0	0	0	0	0
Campana del final de la banda N1	0	0	0	0	0	0
Campana de la banda N2 ubicada en el sótano	1.4	1.48	1.35	1.2	1.6	1.401

NOTA: Las medidas de la velocidad de captura para las campanas de captación de la zaranda vibratoria y final de la banda N°1, se tomaron a una distancia de 600 [mm] y en cuanto a la campana de inicio de la banda N°2 ubicada en el sótano se tomó a una distancia de 400 [mm]. Todas estas medidas se tomaron desde la boca de la campana hasta el foco de polución. Logramos apreciar que estas dos primeras no poseen una velocidad de captura lo cual implica que no cumple ninguna función, primera falla grave encontrada en la actual implementación de sistema de desempolvado.

4.5. TOMA DE PRESIONES DEL FLUIDO EN EL SISTEMA DE DESEMPOLVADO ACTUAL SECCION TRITURACION PLANTA CEMEX.S.A BUCARAMANGA

- MEDICIONES DE PRESIONES: Se tomaron medidas de presión para determinar la caída de presión en los principales ramales del sistema actual y caracterizar el funcionamiento del sistema basándonos en teoría de pérdidas en tuberías. Las presiones que se obtuvieron fueron la presión dinámica de tubería y presiones estáticas de la misma. Se midieron estas presiones para posteriormente hallar las velocidades de tubería y de esta forma saber si se cumplen con las velocidades mínimas según la norma de ventilación industrial. Para sistemas de desempolvado en cementeras. acomodar

Figura 17. Adaptación previa a la toma de presiones.



Fuente: Autores

- **EQUIPO DE MEDICION:** Para la medición de presiones se realizó con ayuda de un tubo Pitot marca Dwyer 160 s y un manómetro digital de marca Dwyer serie 477 B.

Tabla 11. Características del Manómetro Dwyer serie 477 B

Manómetro Dwyer serie 477 B		Tubo Pitot marca Dwyer ref. 160s	
Exactitud	0.1%	Material	Acero inoxidable 304
Precisión	0.1%	Coefficiente	1
Confiabilidad	0.1 %	Diámetro tubo	7.9 [mm]

Figura 18. Manómetro Dwyer serie 477 B



RESULTADOS DE LA MEDICIONES DE PRESIONES ESTATICAS PUNTUALES
EN LOS TRAMOS EN LOS RAMALES PRINCIPALES

Tabla 12. Medición de presiones estáticas en puntos específicos de los tramos

	Toma N1 [Pa]	Toma N2 [Pa]	Toma N3 [Pa]	Toma N4 [Pa]	Toma N5 [Pa]	Toma promedio [Pa]
3er tramo desde campana de final de la banda N1	59	60	61	60	57	57.4
1er tramo desde la entrada al filtro de mangas	216	231	216	213	213	218

Fuente: Autores

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE PRESIONES DINAMICAS
PUNTUALES EN LOS TRAMOS EN LOS RAMALES PRINCIPALES

Tabla 13. Medición de presiones dinámicas en puntos específicos de los tramos

	Toma N1 [Pa]	Toma N2 [Pa]	Toma N3 [Pa]	Toma N4 [Pa]	Toma N5 [Pa]	Toma promedio [Pa]
3er tramo desde campana de final de la banda N1(PUNTO G)	30	26	28	29	24	27.4
1er tramo desde la entrada al filtro de mangas (PUNTO J)	120	115	110	109	110	113

Fuente: Autores

4.6. CALCULO DE VELOCIDADES EN TUBERIA

Para hallar las velocidades de tubería basado en las tomas de medidas de presiones dinámicas tomadas en tubería en campo, aplicamos la fórmula del fabricante del equipo de medidas de presiones propuesta en el manual del equipo (DWYER) con un rango de error del 1% en los resultados de velocidad, este cálculo tipo es para la presión dinámica de 27,4 [Pa] que equivale a 0.111[inca]

$$Velocidad_{tuberia} [fpm] = 1096.2 C_p \sqrt{\frac{P_v}{D}} \quad (08)$$

Donde: C_p : coeficiente de tubo pitot utilizado = 0.84

D : Densidad del aire seco = $0.075 \left[\frac{Lbs}{ft^3} \right]$

P_v : Presion dinamica tomada en [incha]

$$Velocidad_{tuberia} = 1096.2 \times 0.84 \times \sqrt{\frac{0.11}{0.075}}$$

$$Velocidad_{tuberia} = 1115 [fpm] \text{ ó } 5.66 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Procedemos a resolver el sistema de ecuaciones y nos arroja los siguientes valores de velocidades de transporte:

$$V_{transporte(tramo 1)} = 11,51 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$V_{transporte(tramo 2)} = 5,66 \left[\frac{m}{s} \right]$$

4.7 CALCULO DE CAUDALES DEL SISTEMA

Aplicando principios de continuidad, hallamos la velocidad de transporte en el tramo número 3, caudales de tubería y caudal que está trabajando el filtro de mangas.

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (09)$$

$$V_1 A_1 = V_2 A + V_3 A \quad (10)$$

Reemplazamos valores: $V_1 = 11,51 \left[\frac{m}{s} \right]$

$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = 0,0995 [m^2]$$

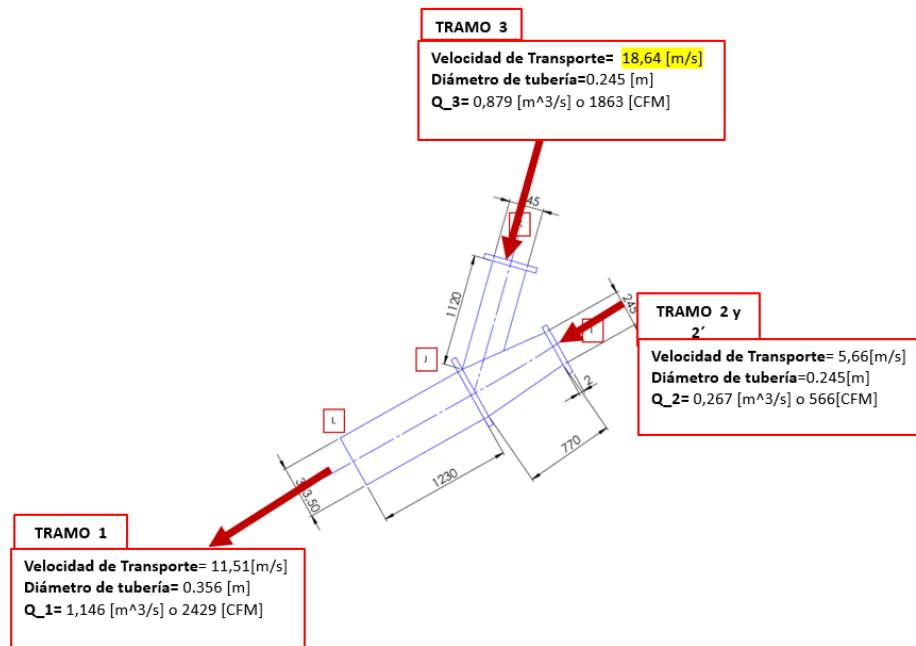
$$V_2 = 6,66 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = 0,0471 [m^2]$$

Procedemos a resolver la ecuación de continuidad y hallamos los siguientes resultados:

$$V_3 = 18,64 \left[\frac{m}{s} \right] ; Q_3 = 2429 [CFM] ; Q_2 = 566 [CFM] ; Q_1 = 2429 [CFM]$$

Figura 19. Esquema de nodo



4.8 RESULTADOS DE VELOCIDADES DE TRANSPORTE DE LOS TRAMOS DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO PLANTA CEMEX S.A BUCARAMANGA

Tabla 14. Velocidad en los conductos.

Velocidad de transporte	En [m/s]
Velocidad de transporte del tramo N 1	11.51
Velocidad de transporte del tramo N 2	5.66
Velocidad de transporte del tramo N 3	18,64

NOTA: Con estos valores de velocidad hallados en campo, evidenciamos que el sistema actual no cumple con las velocidades de transporte dadas por la norma de ventilación industrial de mínima que es de 18[m/s].en los tramos 1 y 2

4.9 EVALUACIÓN DEL FILTRO DE MANGAS Y CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD

Para cumplir con lo establecido en el artículo 72 de la Resolución 909 del 5 de junio del 2008 y garantizar así el cumplimiento de la norma ambiental colombiana es necesario evaluar el filtro de mangas instalado en la sección de trituración. En la tabla 15 se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades industriales a condiciones de referencia (25 °C y 760 mm Hg).

Tabla 15. Normatividad ambiental colombiana para material particulado condiciones de referencia (25 °C y 760 mm Hg).

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m ³)	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevas
Material Particulado (MP)	≤0,5	250	150
	>0,5	150	50

Fuente: www.minambiente.gov.co

Se realiza la corrección por cambio de presión y temperatura para condiciones del aire en Bucaramanga

$$C_{Bucaramanga} = C_{Std} * \frac{(P_B * T_{Std})}{(P_{Std} * T_B)} \quad (11)$$

$C_{Bucaramanga}$ =Concentración en Bucaramanga.

C_{Std} = Concentración a condiciones de referencia.

P_{Std} = Presión a condiciones de referencia.

P_B = Presión en Bucaramanga

T_{Std} = Temperatura a condiciones de referencia

T_B = Temperatura en Bucaramanga

Para un flujo del contaminante $>0,5$ y actividades industrial existente se tiene

$$C_{Bucaramanga} = 150 * \frac{(680 [mmHg] * 25[^\circ C])}{(760 [mmHg] * 23[^\circ C])} = 145,88 \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

En la tabla 15 se resumen los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las actividades industriales a condiciones de referencia en Bucaramanga.

Tabla 16. Normatividad ambiental colombiana para material particulado condiciones de referencia (23 °C y 680 mm Hg).

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m ³)	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevas
Material Particulado (MP)	$\leq 0,5$	243,135	145,881
	$>0,5$	145,881	48,627

Para conocer la concentración de material particulado en el aire, la empresa CEMEX S.A. tiene contrato por prestación de servicios con la empresa de Ingeniería y Consultoría Global LTDA, ICG LTDA. Esta empresa tiene como objeto principal la prestación de servicios de consultoría en calidad del aire, emisiones atmosféricas, estudios de ruido y emisión de ruido, fue constituida el 21 de marzo de 2007 con el

Número de Identificación Tributaria 900140436 – 2. Los datos de concentración de material particulado y tamaño de partícula en el aire fueron medidos en el mes de octubre del 2015 y son suministrados por ICG LTDA, se presentan en la tabla 16.

Tabla 17. Concentración de material particulado en cada piso de trituración

Nivel en la sección	Concentración [g/m ³]	Tamaño de partícula [μm]
Tercer Piso	2,1	22
Segundo piso	4,4	20
Primer Piso	2,3	18
Sótano	5,2	18

Fuente: ICG LTDA

El sistema instalado está evacuando el aire contaminado presente en la zaranda y final de banda N°1, es decir, aire presente en el tercer piso y sótano, la concentración de material en ambos pisos es a la entrada del filtro es

$$C_{PISOS} = \frac{C_{Tercer\ piso} * Q_{Tercer\ piso} + C_{Sótano} * Q_{Sótano}}{Q_{Tercer\ piso} + Q_{Sótano}} \quad (12)$$

$$= \frac{2,1 \left[\frac{g}{m^3} \right] * 0,469 \left[\frac{m^3}{s} \right] + 5,2 \left[\frac{g}{m^3} \right] * 0,988 \left[\frac{m^3}{s} \right]}{0,469 \left[\frac{m^3}{s} \right] + 0,988 \left[\frac{m^3}{s} \right]} = 4,2 \left[\frac{g}{m^3} \right]$$

Se calcula la concentración máxima a la entrada de un filtro de mangas mediante su eficiencia de captación [4]. La eficiencia de captación está dada por

$$n = \frac{C_E - C_S}{C_E} \quad (13)$$

n = Eficiencia de captación

C_E = Concentración a la entrada

C_S = Concentración a la salida

En la figura 19 se representan gráficamente las eficiencias de captación de los cinco grupos de equipos de captación en función del tamaño de partícula, las relaciones presentadas son el resultado de ensayos de laboratorio y pruebas de campo, no estimaciones o resultados obtenidos con modelos matemáticos, fue publicado por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists y es ampliamente utilizado cálculos de sistemas captadores de polvo. Entonces, Para un tamaño medio de partícula en el tercer piso y en el sótano tenemos:

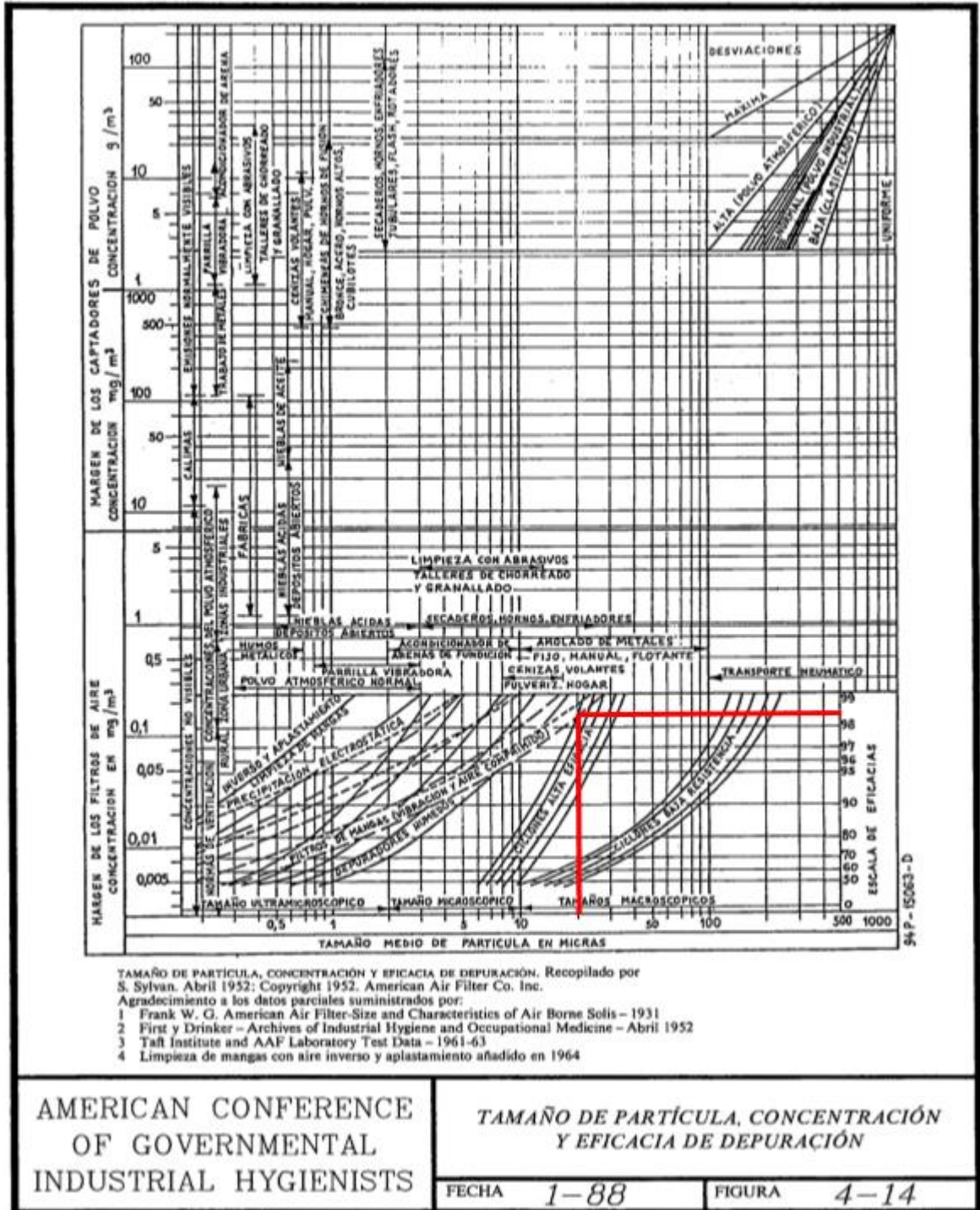
$$D_{particula} = \frac{22 [m\mu] + 18[m\mu]}{2} = 20[m\mu]$$

Ahora, en la figura 19, con un tamaño de partícula de 20 [μ m] la eficiencia para un filtro de mangas adecuadamente diseñado e instalado es de 98,2%. Por lo que la concentración a la salida es de

$$0,982 = \frac{C_{PISOS} - C_{SALIDA FILTRO EFICIENTE}}{C_{PISOS}} = \frac{4,2 \left[\frac{g}{m^3} \right] - C_{SALIDA FILTRO EFICIENTE}}{4,2 \left[\frac{g}{m^3} \right]}$$

$$C_{SALIDA FILTRO EFICIENTE} = 0,0756 \left[\frac{g}{m^3} \right] = 75,6 \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

Figura 20. Eficiencia de filtro de mangas contra tamaño de partícula



Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Committee on Industrial Ventilation

Entonces el flujo de contaminante a la salida del filtro, \dot{m}_s será:

$$\dot{m}_s = 5097,027 \left[\frac{m^3}{h} \right] * 0,0756 \left[\frac{g}{m^3} \right] * \frac{1}{1000} \left[\frac{kg}{g} \right] = 0,385 \left[\frac{kg}{h} \right] (< 0,5 \left[\frac{kg}{h} \right])$$

De la tabla 15 con un flujo de contaminante a la salida del filtro de 0,385 [kg/h] y para actividades industriales existentes se tiene una concentración máxima de emisión 243,135 [mg/m³] establecida por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Tabla 18. Emisión de un filtro adecuadamente diseñado e instalado y máxima emisión según la norma colombiana.

	Emisión de un filtro adecuadamente diseñado e instalado	Máxima emisión según la norma colombiana.
Flujo másico [kg/h]	0,385	0,5
Concentración [mg/m ³]	75,6	243,135

Fuente: Autores

Si el filtro estuviera adecuadamente diseñado e instalado sería capaz de cumplir con la norma ambiental vigente para emisión de aire contaminado con material particulado, pero la contaminación del aire en el tercer piso y sótano es notable, por lo que el actual sistema no extrae el aire contaminado en su totalidad. El sistema presenta velocidades de capturas y de conductos menores a la mínima exigida por la norma.

4.10 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Al revisar el sistema instalado en la sección de trituración se observan componentes con poca hermeticidad y deteriorados condiciones que aumentan la fuga del material contaminado.

Figura 21. Bajante de material grueso



En el sistema de transporte de material, el tramo de la zaranda vibratoria a la trituradora Pensilvania se encuentra abierto al medio ambiente, figura 20. Generando escapes del material que contaminan el área de trabajo. Se recomienda sellar esta sección, pues las vibraciones ocasionan fuga de material en la parte superior de este tramo.

Figura 22. Codo con fisuras.



Se encuentran fisuras en los ductos, en la figura 21 se aprecia uno de estos orificios en el tramo que transporta el material particulado presente en el sótano causando la entrada de aire falso al sistema, junto con los sistemas de sujeción desgastados por los que se escapa el material particulado causando ineficacia en el proceso de recolección de aire contaminado, por lo cual se deben reemplazar estos elementos ya deteriorados.

Figura 23. Conducto conectado a codo.



En el sistema instalado para la recolección de aire en la zaranda vibratoria se encuentra una contravención a los criterios de diseño planteado por el manual de ventilación industrial, en el codo se instaló un tramo que se dirige a otro punto en la zaranda vibratoria, ver figura 22. Por recomendación no se deben instalar tramos en los codos, pues estos aumentan de manera considerable las pérdidas en esta sección.

Figura 24. Trituradora de martillos



No se consideró un sistema de captación de polvos para el segundo piso de la sección de trituración, la trituradora de martillos es uno de los principales focos de contaminación instalado en este piso y hace del área de trabajo un lugar hostil cuando se encuentra en funcionamiento dificultando la visibilidad de los operarios y generando riesgos de inhalación de material particulado, ver figura 23.

Figura 25. Tolva mal hermetizada



La campana y la tolva instalados en la banda N° 2 presenta fugas que han intentado ser reparadas sin éxito como se ve en la figura 24, se recomienda hermetizar adecuadamente el sistema para que el aire contaminado no escape al ambiente.

4.11 EVALUACIÓN DE LAS CAMPANAS DE CAPTURA INSTALADAS

Las campanas instaladas en la sección de trituración serán evaluadas según lo dispuesto en el manual de ventilación industrial^{††} el cual tiene atiende las recomendaciones dadas por la American Conference of Governmetal Industrail Hygienists^{##}. Se verificará la configuración geométrica que debe tener cada campana instalada para el manejo de aire en los focos donde han sido instaladas.

^{††} Manual de ventilación industrial

^{##} American Conference of Governmetal Industrail Hygienists

Tabla 19. Campana de captura instalada en el final de banda N°1.


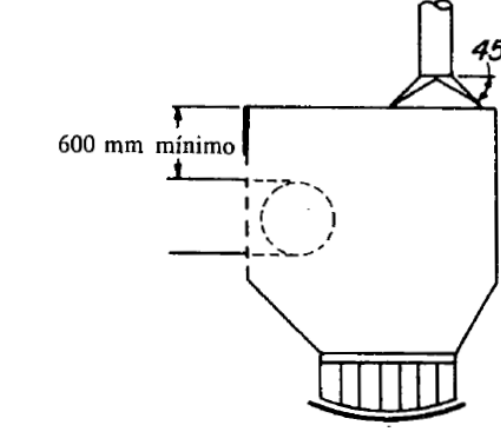
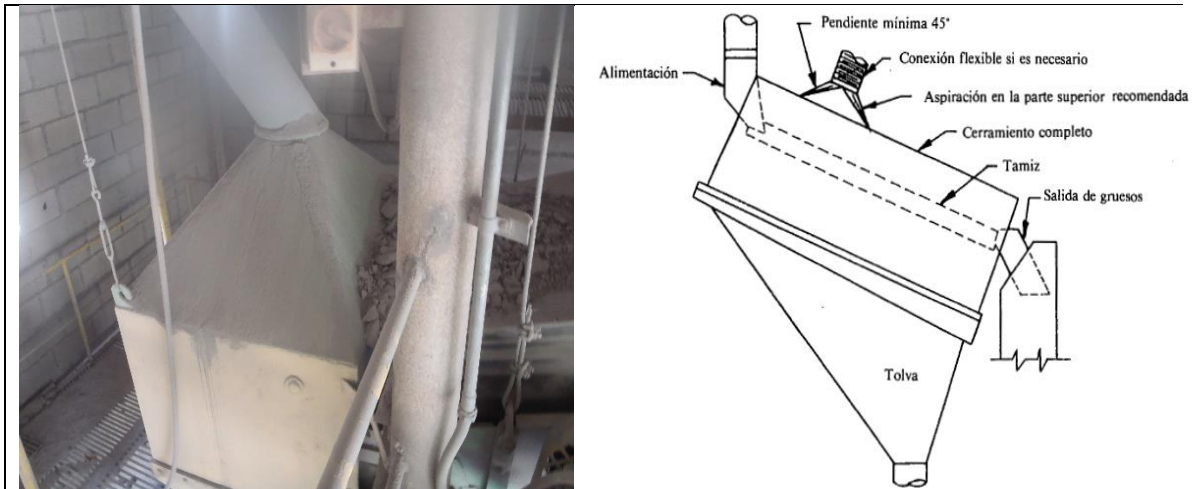
	
10-39 pág. 289 Manual de ventilación.	
<p>EVALUACIÓN:</p> <p>En el final de la banda N°1 encontramos una campana tipo cabina con tres laterales cerrados, la geometría de esta campana es la adecuada según lo dispuesto por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists, cuenta con un ángulo de 45° y se encuentra próxima al foco, pero el ducto de salida de esta campana está instalado en un codo, lo cual reduce su capacidad de tiro y no marca una velocidad de captura, por esta razón no cumple con la velocidad mínima de captura establecida en la norma. En el rediseño del sistema de desempolvado se estudiará la posibilidad de utilizar esta campana en el nuevo sistema modificando la conexión con los demás ductos.</p>	

Tabla 20. Campana instalada en la zaranda



10-40 pag.290 manual de ventilación.

EVALUACIÓN:

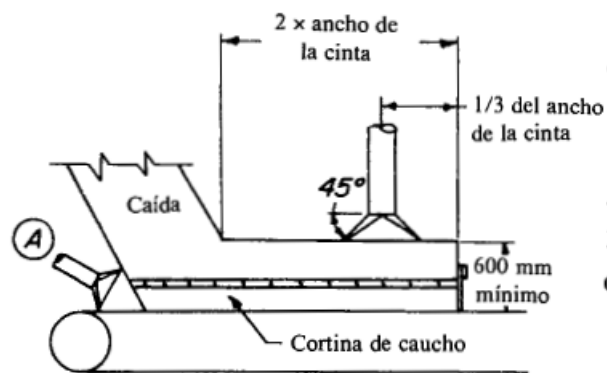
La campana instalada en la zaranda no cumple con lo recomendado por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Esta campana no fue instalada con una conexión flexible, además la campana se encuentra en la parte inferior de la zaranda vibratoria contrario a lo recomendado en la norma que sugiere instalar la aspiración en la parte superior. La campana cuenta con los ángulos recomendados al tener un ángulo mínimo de 45° pero debido a su mala ubicación y al tener un tramo instalado en uno de sus codos como se observa en la imagen, no cuenta con velocidad de captura y por lo tanto no cumple con la velocidad mínima de captura dispuesta en la norma.

Tabla 21. Campana instalada en el sótano en la banda N°2

	
<p>Posterior tolva de descarga</p>	<p>Frontal tolva de descarga y campana de captura</p>

EVALUACIÓN:

La instalación en el sótano no cumple con lo dispuesto por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists, debido a que no cuenta con una campana instalada en la parte posterior de la tolva de descarga como recomienda la norma. La campana instalada en la parte frontal de la tolva tiene el ángulo mínimo de 45° que corresponde al recomendado como se ve en la imagen, además cuenta con una velocidad de captura de 1,4 [m/s] que se encuentra en el rango aceptable por la norma.



Fuente: manual de ventilación.

4.12 CONCLUSIONES DE LA AUDITORÍA

Al realizar la inspección y verificación del sistema de desempolvado por filtro de mangas se encontraron fallas en el sistema que impide mantener la sección de trituración limpia, como causas principales tenemos:

- El sistema de desempolvado por filtro de mangas implementado en la planta no coincide con los cálculos realizados y los planos presentes en los archivos de la empresa, es decir, el diseño y los planos muestran ubicaciones adecuadas de las campanas según la norma, un ventilador centrífugo que cumple con los requerimientos del sistema y adecuadas ubicaciones de los ductos, pero el sistema instalado no coincide con lo dispuesto en los cálculos y planos.
- El filtro de mangas instalado en la sección de trituración no tiene la capacidad para cumplir con lo dispuesto en la norma ambiental para la emisión de aire contaminado con material particulado, por lo cual deben ser instalados al menos dos filtros de mangas en la sección de trituración.
- El sistema cuenta con fugas en los ductos que transportan el aire contaminado. Al inspeccionar el sistema se encuentra poca hermeticidad en el sistema instalado, ductos corroídos y grietas provocan fugas que quitan capacidad de tiro al sistema.
- Tramo de conducto mal instalado, el conducto que transporta el aire contaminado de la campana instalada en el final de banda N°1 está conectado en un codo, lo cual aumenta las pérdidas y hace que esta campana no funcione de manera adecuada.

- Incluir un sistema de extracción de aire contaminado en la trituradora Pensilvania que se encuentra en el segundo piso de la sección, pues en la trituradora se presuriza y se escapa el aire.
- Hermetizar la tolva de descarga en la banda N°2 e incluir un sistema de extracción de aire contaminado como lo recomienda la American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

5. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

Para diseñar el sistema de extracción de aire contaminado con material particulado se deben seguir los siguientes pasos atendiendo las recomendaciones hechas en el manual de ventilación^{§§}.

1. Seleccionar las campanas y calcular los caudales correspondientes para el manejo de aire en cada operación a controlar.
2. Establecer la velocidad mínima en los conductos.
3. Elegir el diámetro interno preliminar, se aproxima el diámetro a un valor menor, esto para obtener una velocidad de conducto mayor a la mínima.
4. Determinar, a partir del esquema del trazado de la red la longitud de cada tramo, el número de accesorios, entrada del ventilador, etc.
5. Calcular la pérdida de carga del sistema de extracción localizada.

5.1 MÉTODO DE LA PRESIÓN DINÁMICA

Este método se utilizará para calcular las pérdidas de carga debidas por rozamiento en conductos y resistencia de forma en accesorios, en éste método las pérdidas de carga son función de la presión dinámica y pueden ser calculadas multiplicando la presión dinámica por un factor correspondiente para cada accesorio. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Calcular la velocidad real en el conducto utilizando el diámetro corregido.

^{§§} GOBERNA.Ricardo. Ventilación industrial.1 Edición.Madrid

2. Calcular la presión dinámica correspondiente.
3. Calcular la succión (presión estática) en la campana atendiendo las recomendaciones hechas por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists, encontradas en el manual de ventilación.
4. Determinar el número de accesorios en el tramo, la longitud del tramo y sus respectivos factores de pérdidas.
5. Sumar los factores de pérdida y multiplicarlos por la presión dinámica. El resultado es la pérdida de carga en el tramo.
6. Se suman las pérdidas provocadas por otros elementos, las perdidas en el tramo y a la succión de la campana, el resultado es el requerimiento total de energía expresado en términos de presión estática necesario para hacer circular el caudal de diseño atreves del tramo.

5.2 DISTRIBUCIÓN DEL CAUDAL

En un sistema múltiple de extracción localizada se debe prever, bien sea con un diseño equilibrado o con compuertas de regulación, la correcta repartición de los caudales en los conductos secundarios. La razón es que el aire siempre circula por el camino de menor resistencia, es decir, el tramo de menos pérdidas de carga, entonces, en un sistema instalado los caudales se distribuirán de acuerdo a las pérdidas en cada tramo, por esta razón en el diseño se debe conseguir que para todos los tramos que confluyen en una unión el valor calculado de la presión estática sea el mismo.

5.2.1 Método del equilibrado por diseño

En este procedimiento se prevé un sistema diseñado que consigue el adecuado reparto de los caudales, esto, logrando que el valor calculado de la presión estática en cada tramo que confluye a una unión sea la misma. La presión estática se equilibra aumentando las pérdidas en el tramo que presenta menor resistencia, esto

mediante la elección de un nuevo diámetro de conducto, modificando el radio de los codos, etc.

El manual de ventilación industrial recomienda rediseñar el conducto con la PE más baja cuando la relación entre la PE más alta y la más baja en la unión sea mayor a 1,2. Cuando las presiones estáticas calculadas no son iguales el equilibrio puede lograrse aumentando el caudal para el conducto de menor resistencia. El nuevo caudal se calcula teniendo en cuenta que la pérdida de carga es proporcional a la presión dinámica y por lo tanto proporcional al cuadrado del caudal.

$$Q_{\text{corregido}} = Q_{\text{Diseño}} \sqrt{\frac{PE \text{ en la unión}}{PE \text{ calculada en el tramo}}} \quad (13)$$

Una vez aplicada estas correcciones la diferencia de presiones no se tiene en cuenta y se considera que los conductos están equilibrados a la presión estática correspondiente a la mayor de ambas (presión estática de control).

5.2.2 Equilibrado por compuertas

Se instalan compuertas en cada tramo que confluye a una unión, cuando el sistema se encuentra en funcionamiento se ajusta cada compuerta para lograr el caudal deseado en cada campana, en el conducto principal simplemente se suman los caudales de cada conducto secundario.

5.3 Corrección de velocidad en uniones de conductos secundarios a conducto principal

Algunas veces la velocidad en el conducto principal después de la unión es superior que la mayor de las velocidades en los conductos secundarios confluyentes, si la diferencia es importante, el incremento en presión dinámica en el conducto principal

deberá ser compensado con una pérdida de presión estática, el manual de ventilación recomienda realizar correcciones si la diferencia entre la presión dinámica en el conducto principal y la presión dinámica resultante es mayor de 2,5 [mmcda].

En primer lugar se calcula la presión dinámica resultante correspondiente a una velocidad ficticia de las dos corrientes de aire que llegan a la unión, el valor se calcula aplicando la ecuación básica de la presión dinámica.

$$PDr = \left[\frac{Q_1 + Q_2}{4,043(A_1 + A_2)} \right]^2 \quad (14)$$

En donde:

PD_r= Presión dinámica resultante de la unión

Q₁= Caudal en el conducto n°1

Q₂= Caudal en el conducto n°2

A₁= Área del conducto n°1

A₂= Área del conducto n°2

Los conductos 1 y 2 están equilibrados en la unión, PE₁=PE₂, entonces si la presión dinámica en el conducto principal es menor que la presión dinámica resultante, se produce una desaceleración y no es necesario realizar correcciones, pero si la presión dinámica en el conducto principal es mayor que la presión dinámica resultante se produce una aceleración y es necesario realizar correcciones. El valor corregido de PE se calcula:

$$PE_3 = PE_1 - (PD_3 - PD_r) \quad (15)$$

PE₃=Presión Estática en el conducto principal 3.

PE₁=Presión en el conducto 1 = Presión en el conducto 2.

PD₃=Presión dinámica en el conducto principal 3.

5.4 REDISEÑO DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO POR FILTROS DE MANGAS PARA EL AREA DE TRITURACIÓN

El rediseño del sistema de extracción de aire contaminado consistirá en instalar dos filtros de mangas, no se considera en el rediseño el filtro instalado actualmente en la sección de trituración porque no cumple con los requerimientos de capacidad total de aire contaminado a evacuar en la sección, la tabla 22 resume los caudales totales y la capacidad del filtro.

Tabla 22. Caudal total de aire a extraer y capacidad del filtro de mangas instalado.

FOCOS DE POLUCIÓN	CAUDAL [CFM]
Campana final de cola de banda n-2	794
Campana de banda N-2 a 1 m del chute de descarga	1621
Campana de banda de tolva descarga	1202
Campana trituradora (M)	4562
Campana de zaranda (L)	2089
Campana de final de banda N-1 (K)	792
Caudal total	11060
Capacidad instalado del filtro	3000

Por manejo interno de la empresa se requiere trasladar el filtro instalado actualmente en la sección de trituración a otra área, la empresa tiene disponible un filtro de mangas de 3800 [CFM] que desea utilizar en la sección de trituración, entonces, para manejar el caudal de aire restante se requiere otro filtro que será considerado en el rediseño. El esquema del rediseño se ve en la figura 26.

Figura 26. A) Esquema de la Propuesta de rediseño.

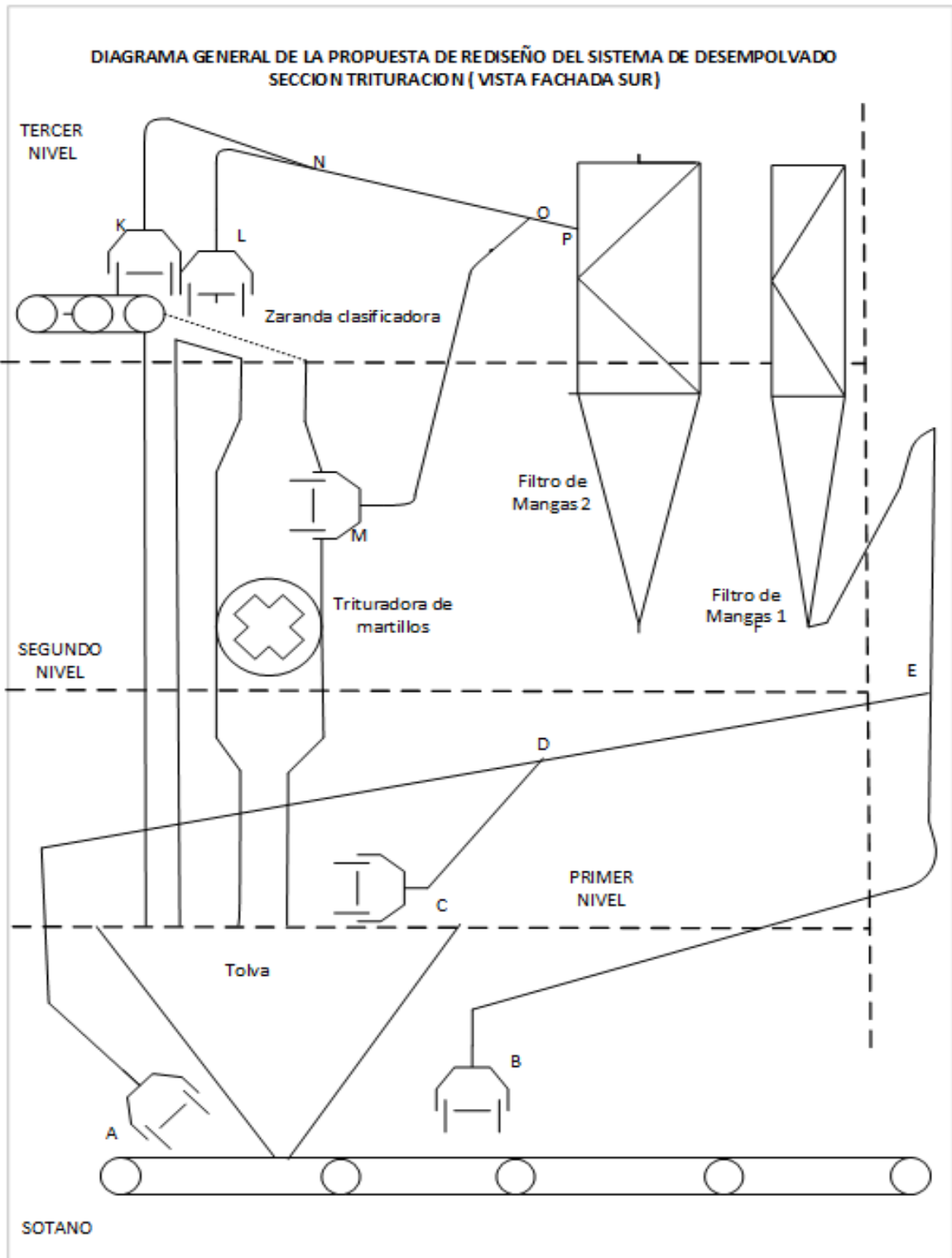
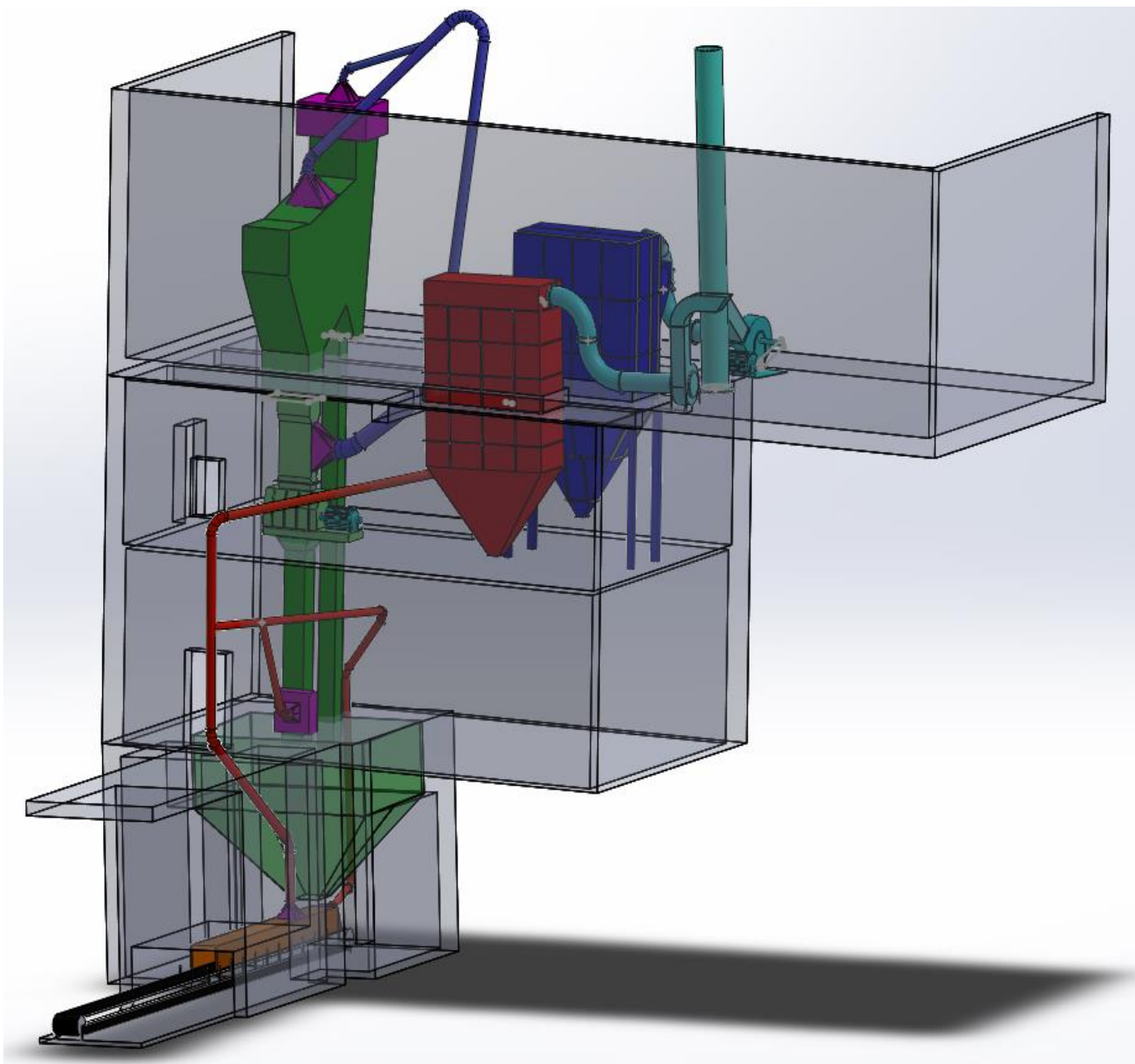
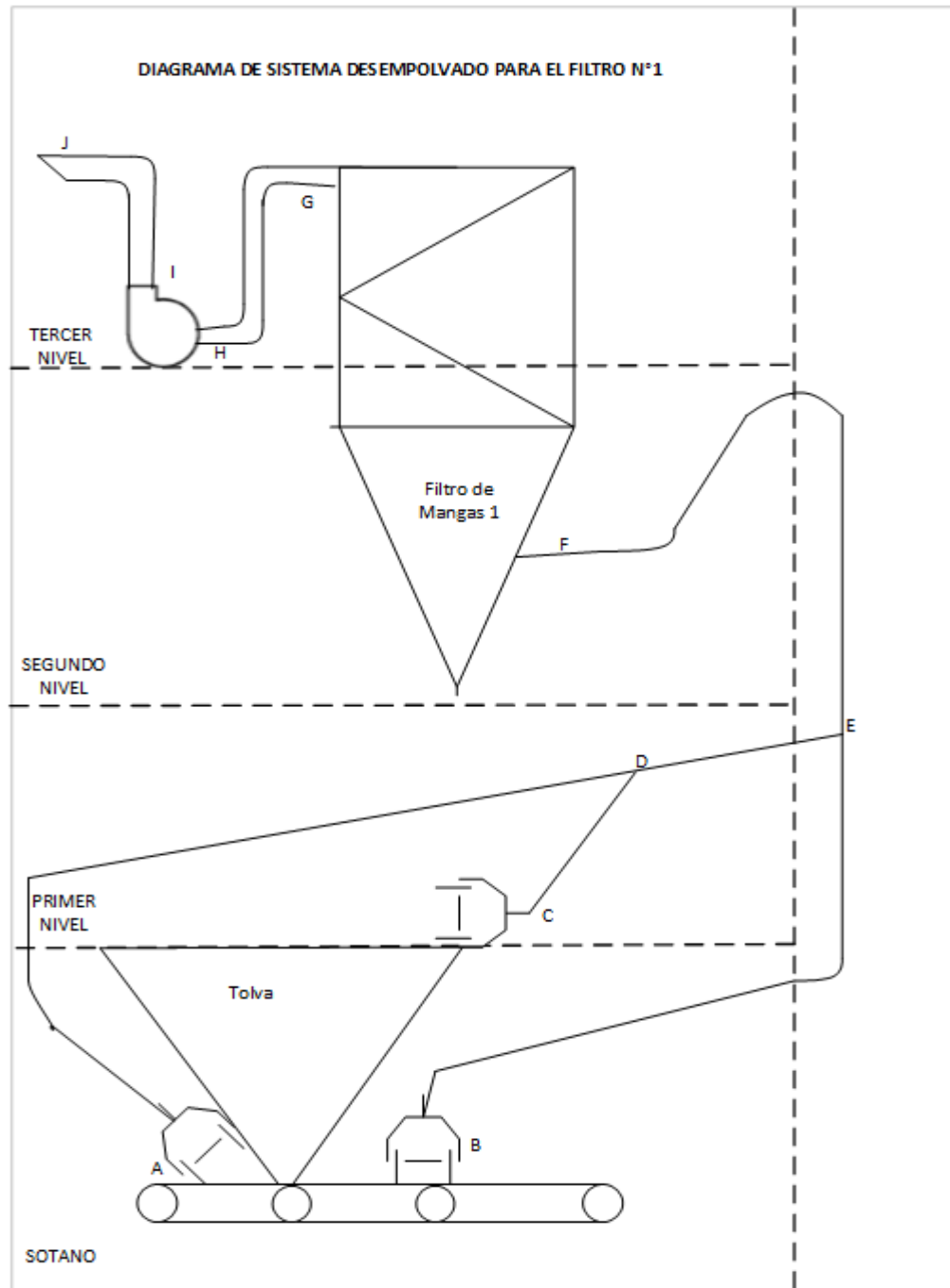


Figura 26. B) Esquema de la Propuesta de rediseño.



5.4.1 Diseño del sistema de extracción de aire contaminado para banda N° 2 y tolva de descarga.

Figura 27. Diagrama de desempolvado para el filtro N°1



Para el diseño del sistema de extracción en la banda N°2 y en la tolva de descarga se empieza por determinar los caudales a manejar para cada operación [5], atendiendo las recomendaciones hechas por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists encontradas en el manual de ventilación.

5.4.1.1 Caudal de manejo en campanas de extracción. Para la extracción adicional de aire contaminado en la Banda N°2, campana A, se recomienda un caudal de extracción en función del ancho de banda, para ancho de banda entre 300 y 900 [mm] se toma un caudal de $Q = 0,33 \text{ [m}^3/\text{s]}$, para un ancho de banda de más de 900 [mm] se debe utilizar un caudal de $Q = 0,47 \text{ [m}^3/\text{s]}$. Debido a que el ancho de la banda N°2 es de 0,61 [m] se requiere manejar un caudal de $0,33 \text{ [m}^3/\text{s]}$.

Tabla 23. Caudales de campana

Campana	Caudal	Parámetro	Caudal estándar
A	300<AnchoBanda<900mm 0,33[m ³ /s] >900mm 0,47 [m ³ /s]	0,61 [m]	0,33 [m ³ /s]
B	0,54 [m ³ /s/mAnchobanda]	0,61[m]	0,658[m ³ /s]
C	>1 [m/s] 0,77[m ³ /s/mAnchobanda]	V=1,91 [m/s] 0,61[m]	0,469[m ³ /s]

Fuente: Manual de ventilación Industrial

En la campana B se recomienda manejar un caudal de aire de $0,54 \text{ [m}^3/\text{s]}$ por metro de ancho de banda, además para materiales pulvigenos se debe multiplicar por un factor de 2, por lo que se tiene

$$Q_b = 0,54 \left[\frac{m^3}{s} \right] * 0,61[m] * 2 = 0,658 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Para la campana C, instalada en la tolva se debe manejar un caudal de 0,77 [m³/s] por metro de ancho de banda por lo que

$$Q_c = 0,77 \left[\frac{m^3}{s} \right] * 0,61[m] = 0,469 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

En la tabla 23 se resumen los caudales a manejar en el sistema. Hay que aclarar que estos caudales son los recomendados en condiciones de aire estándar, es decir a presión al nivel del mar y temperatura de 25°C donde la densidad del aire es 1,2 [Kg/m³]. Para manejar aire seco en Bucaramanga se deben realizar correcciones a la densidad del fluido y por consiguiente a los caudales, se utiliza el factor de elevación y factor de temperatura como sigue:

$$df_z = [1 - (6,73 * 10^{-6})(z)]^{5,228} \quad (16)$$

En donde

df_z= Factor de elevación

z= Altura sobre el nivel del mar [ft]

Y para los cambios de temperatura tenemos

$$df_T = \frac{530}{T + 460} \quad (17)$$

df_t= Factor de temperatura.

T= Temperatura en °F

En la ciudad de Bucaramanga tenemos una altura aproximada de 3146,33 [ft] sobre el nivel del mar y una temperatura de 73 [°F], entonces para cada factor tenemos

$$df_z = [1 - (6,73 * 10^{-6})(3146,33)]^{5,228} = 0,89$$

$$df_T = \frac{530}{73 + 460} = 0,99$$

La nueva densidad será

$$\text{densidad} = \text{densidad aire estándar} * df_z * df_T \quad (18)$$

$$\text{densidad} = 1,2 * 0,89 * 0,99 = 1,057 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

Ahora considerando el cambio de densidad en los caudales de extracción son en condiciones estándar, se deben realizar las siguientes modificaciones, con la ecuación de continuidad:

$$Q_{\text{estandar}} * \text{densidad aire estandar} = Q_{\text{Real}} * \text{densidad aire bucaramanga} \quad (19)$$

Entonces para tener el caudal en Bucaramanga se debe

$$Q_{\text{Real}} = \frac{Q_{\text{estandar}} * \text{densidad aire estandar}}{\text{densidad aire bucaramanga}}$$

Para cada campana de extracción se tiene el siguiente caudal corregido para las condiciones de aire seco que se encuentra Bucaramanga:

$$Q_{\text{Campana A}} = 0,33 * 1,135 = 0,374 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q_{\text{Campana B}} = 0,658 * 1,135 = 0,746 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$Q_{\text{Campana C}} = 0,469 * 1,135 = 0,532 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

5.4.1.2 Diámetro de conductos. Una vez obtenidos los caudales de diseño y con una velocidad mínima de conducto de 17,5 a 20 [m/s] para polvo de caliza (recomendada en el manual de ventilación, figura 28) se puede calcular el diámetro interior y aproximarlos a un valor menor para facilitar su fabricación, así mismo al aproximar el diámetro interno a un valor menor se asegura una velocidad mayor a la mínima en el conducto.

Figura 28. Velocidad mínima de diseño en conductos

Naturaleza del contaminante	Ejemplos	Velocidad de diseño (m/s)
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos	Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5 y 10 m/s)
Humos de soldadura	Soldadura	10-12,5
Polvo muy fino y ligero	Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco	12,5-15
Polvos secos	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero	15-20
Polvo ordinario	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvo de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza, polvo en el embalado y pesado de amianto en industrias textiles	17,5-20
Polvos pesados	Polvo de aserrado (pesado y húmedo), viruta metálica, polvo de desmoldeo en fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado de fundición, polvo de plomo	20-22,5
Polvo pesado húmedo	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir (pegajosos)	> 22,5

Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Committee on Industrial Ventilation

Para una cantidad de flujo de aire que recorre una sección de conducto tenemos,

$$Q = V_{min} * A \quad (19)$$

Q= Caudal de aire [m³/s]

V_{min}= Velocidad mínima del aire en el conducto [m/s]

A= Área del conducto [m²]

El manual de ventilación sugiere trabajar el aire como un fluido incompresible, se tendrán aproximaciones deseadas, sin errores considerables en los cálculos, esta suposición se verificará más adelante. El diámetro interno para cada conducto con los respectivos caudales será

Diámetro de tramo A-D

0

$$0.374 \left[\frac{m^3}{s} \right] = 18 \left[\frac{m}{s} \right] \times \frac{\pi * d_{AD}^2}{4}$$

$$d_{AD} = 162,76 [mm] \sim 150 [mm]$$

Diámetro de tramo C-D

$$0,532 \left[\frac{m^3}{s} \right] = 18 \left[\frac{m}{s} \right] * \frac{\pi * d_{CD}^2}{4}$$

$$d_{CD} = 194,040 [mm] \sim 190 [mm]$$

Diámetro de tramo B-E

$$0,746 \left[\frac{m^3}{s} \right] = 18 \left[\frac{m}{s} \right] * \frac{\pi * d_{BE}^2}{4}$$

$$d_{BE} = 229,836 [mm] \sim 220 [mm]$$

Estos diámetros son obtenidos con la primera iteración, debido a que se debe lograr el equilibrio en la unión se modifica el diámetro hasta obtener una relación entre la PE mayor y la PE menor entre el rango recomendado por el manual de ventilación (<20%). Una vez logrado el equilibrio se procede a recalcular el caudal en el tramo con menos pérdidas.

5.4.1.3 Pérdidas de carga del sistema. Para hallar el diámetro interno a utilizar en cada ramal que cumpla con el equilibrio de presiones, se deben calcular las pérdidas en cada tramo, en la tabla 24 se especifican los accesorios y las longitudes de cada tramo.

Tabla 24. Accesorios y longitud de cada tramo.

Tramo	Caudal mínimo [m ³ /s]	Longitud de tramo, [m]	Codos	Uniones
A-D	0,374531835	11,5	2 codos 45° - 1 codo 90°	
C-D	0,532289184	3		1 - 45°
D-E	0,906821019	3,5		1 - 60°
B-E	0,746793781	5	2 codos 60°	
E-F	1,6536148	8,7	2 codos 45°	
G-H	1,6536148	2,5	2 codos 90°	
I-J	1,6536148	5	2 Codos 90°	

Se empieza a calcular desde la campana más alejada en el sistema, en este caso la campana A es la más alejada, teniendo en cuenta los factores de pérdida para codos dados en la tabla 25 y la perdidas en las uniones en la tabla 26, se calculan las presiones estáticas de cada conducto secundario en la unión.

Tabla 25. Factores de pérdida para codos dados

CODO DE 90°		
R/D	Factor de pérdida de carga	
2,75	0,26	

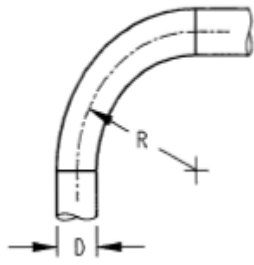
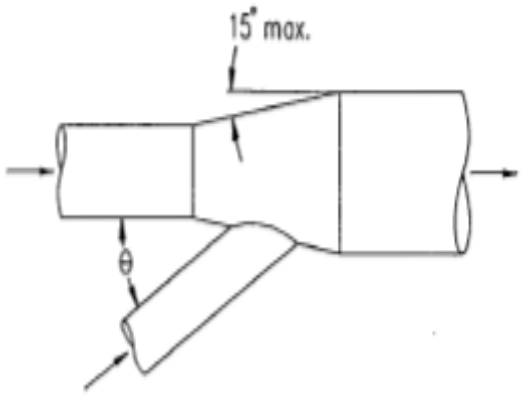
2,50	0,22	
2,25	0,26	
2	0,27	
1,75	0,32	
1,5	0,39	
1,25	0,55	
Codos de 60°	2/3	
Codos de 30°	1/3	
Codos de 45°	0,45	

Tabla 26. Factores de pérdida para uniones

Ángulo en grados °	Pérdida en el conducto lateral	
10	0,06	
15	0,09	
20	0,12	
25	0,15	
30	0,18	
35	0,21	
40	0,25	
45	0,28	
50	0,32	
60	0,44	
90	1	

Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Committee on Industrial Ventilation.

El factor de pérdida de presión en cada campana es dada por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists y se encuentra en el manual de ventilación para cada operación en la que se desee extraer el aire contaminado. Los valores de estos factores se encuentran en la tabla 27.

Tabla 27. Factores de pérdidas de campana

Factores de perdida de presión en una campana	
Campana	Factor
A	0,25
B	0,25
C	0,25

Fuente: American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Committee on Industrial Ventilation.

Además de estos valores se debe tener en cuenta la aceleración del fluido en la campana, se recomienda sumar una unidad a cada factor de pérdida de presión en la campana.

Para las pérdidas de carga en la tubería, se sigue las recomendaciones hechas en el manual de ventilación y se elige chapa galvanizada como material para la fabricación de los conductos, este material presenta una alta resistencia contra la corrosión por erosión debido a la galvanización realizada con zinc que lo protege del movimiento destructivo de una corriente de aire contaminado con material particulado. La ecuación (20) da valores medios de perdida de carga por longitud de ducto circular, estos valores se pueden utilizar en la mayoría de diseños sin cometer errores significativos.

$$H_f \left(\frac{Pd}{m} \right) = \frac{27,8}{Q^{0,079} * D^{1,066}} \quad (20)$$

Q= Caudal en el conducto [m³/s]

D= Diámetro en el conducto [m/s]

Con el diámetro interno del conducto obtenido anteriormente se calcula el área de sección transversal y junto con el caudal en el conducto tenemos la velocidad real del aire en el conducto, esta velocidad real, es la utilizada para calcular la presión dinámica.

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 0,15^2}{4} = 0,0176 [m^2]$$

$$Pd = \frac{1}{2} * \rho * V^2$$

A= Área de conducto

d= Diámetro de conducto

ρ = Densidad del fluido

V= velocidad real en el conducto

Pd= Presión dinámica en el conducto

Presión dinámica en A-D

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 0,15[m]^2}{4} = 0,0176 [m^2]$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,374[\frac{m^3}{s}]}{0,0176 [m^2]} = 21,25[\frac{m}{s}]$$

$$Pd_{AD} = \frac{1}{2} * \rho * V^2 = \frac{1}{2} * 1,05[\frac{Kg}{m^3}] * (21,25[\frac{m}{s}])^2 * 0,1019 \frac{mmcda}{Pa} = 24,215 [mmcda]$$

Presión dinámica en C-D

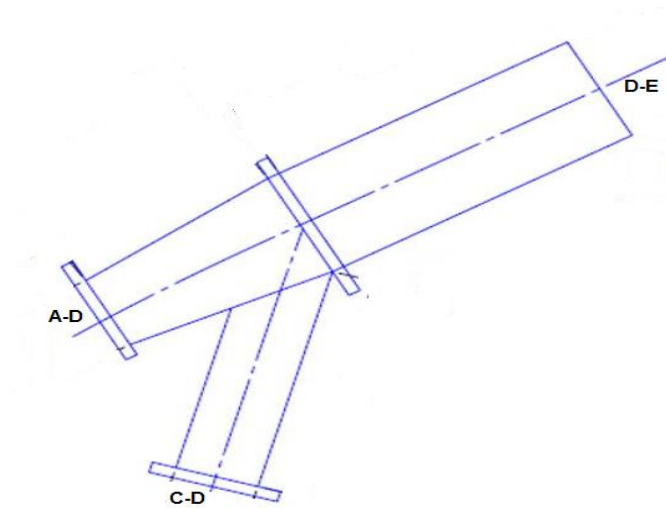
$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 0,19[m]^2}{4} = 0,0283 [m^2]$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,532[\frac{m^3}{s}]}{0,0283 [m^2]} = 18,77[\frac{m}{s}]$$

$$Pd_{CD} = \frac{1}{2} * \rho * V^2 = \frac{1}{2} * 1,05[\frac{Kg}{m^3}] * (18,77 [\frac{m}{s}])^2 * 0,1019 \frac{mmcda}{Pa} = 19 [mmcda]$$

Con los factores de pérdidas y la presión dinámica en cada conducto, se calcula la presión estática en cada conducto secundario hasta la unión D.

Figura 29. Unión D



Fuente: Autores

$$\Delta P_{BA} = P_B - P_A = K_{Camapana} Pd_{AB} + K_{Tramo} Pd_{AB} + \Delta P_{otros}$$

ΔP_{AB} =Caída de presión en un tramo A-B

$K_{Camapana}$ =Suma de factores de pérdidas en la campana.

K_{Tramo} =Suma de factores de pérdidas por fricción en el ducto y por accesorios.

P_{dAB} =Presión dinámica en el tramo AB.

ΔP_{otros} = Caída de presión en elementos especiales, como filtros, depuradores, ciclones, etc.

Al tener la presión manométrica como presión de referencia, $P_A=0$ [mmcda], y con los factores de pérdida ya dados se tiene:

$$K_{Camapana} P_{dAD} = (0,25 + 1) * 24,215 = 30,269[\text{mmcda}]$$

$$K_{Tramo} P_{dAD} = \left(\left(\frac{27,8}{0,374^{0,079} * 150^{1,066}} \right) * 11,55 + (0,39 + 2 * 0,45) \right) * 24,215$$
$$= 71,483[\text{mmcda}]$$

Por lo que

$$P_{D1} = P_D = -30,269[\text{mmcda}] - 71,483[\text{mmcda}] = -101,753[\text{mmcda}]$$

Se sigue el mismo procedimiento para calcular ΔP_{CD}

$$K_{Camapana} P_{dCD} = (0,25 + 1) * 19 = 23,750[\text{mmcda}]$$

$$K_{Tramo} P_{dCD} = \left(\left(\frac{27,8}{0,532^{0,079} * 190^{1,066}} \right) * 3 + (0,28 + 0,45) \right) * 19$$
$$= 20,070[\text{mmcda}]$$

$$P_{D2} = P_D = -23,750[\text{mmcda}] - 43,821[\text{mmcda}] = -43,82[\text{mmcda}]$$

$$\frac{P_{D1}}{P_{D2}} = \frac{-101,753[\text{mmcda}]}{-43,82[\text{mmcda}]} = 2,322$$

Se observa que las presiones estáticas no son iguales en los conductos secundarios, $P_{D1} \neq P_{D2}$, entonces se debe rediseñar el conducto con la menor caída de presión hasta que la relación entre P_{D1} y P_{D2} sea menor de 1,2 (< 20%).

Con un diámetro de 160 [mm] en el conducto C-D se tiene

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 0,16[m]^2}{4} = 0,0201 [m^2]$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,532[\frac{m^3}{s}]}{0,0201 [m^2]} = 26,47[\frac{m}{s}]$$

Se calcula la nueva presión dinámica, las pérdidas en el tramo y se halla la presión estática P_{D2}

$$Pd_{CD} = \frac{1}{2} * \rho * V^2 = \frac{1}{2} * 1,05[\frac{Kg}{m^3}] * \left(26,47 [\frac{m}{s}]\right)^2 * 0,1019 \frac{mmcda}{Pa} = 37,783 [mmcda]$$

$$K_{Camapana} Pd_{CD} = (0,25 + 1) * 37,783 = 47,229 [mmcda]$$

$$K_{Tramo} Pd_{AD} = \left(\left(\frac{27,8}{0,532^{0,079} * 190^{1,066}} \right) * 3 + (0,28 + 0,45) \right) * 37,783$$

$$= 42,390 [mmcda]$$

$$P_{D2} = -47,229 [mmcda] - 42,390 [mmcda] = -89,620 [mmcda]$$

Para esta nueva presión en C la relación de presiones de los tramos secundarios es

$$\frac{P_{D1}}{P_{D2}} = \frac{-101,753[\text{mmcda}]}{-89,620 [\text{mmcda}]} = 1,135 (< 20\%)$$

La nueva presión estática en P_{D2} , hace que se equilibren las presiones estáticas en la unión D. Ahora hay que realizar la corrección del caudal en el tramo CD, el nuevo caudal se calcula teniendo en cuenta que la pérdida de carga es proporcional a la presión dinámica y por lo tanto proporcional al cuadrado del caudal. Utilizando la ecuación (13)

$$Q_{CD\text{Corregido}} = 0,532 * \sqrt{1,135} = 0,567 \left[\frac{m^3}{s}\right]$$

Para el tramo D-E se efectúan correcciones por cambio de velocidad causados por la unión, se calcula la presión dinámica resultante de ambas corrientes de aire que llegan al conducto principal, de la ecuación (14):

$$P_{Dr} = \left[\frac{0,374 + 0,567}{4,043(0,0176 + 0,0201)}\right]^2 = 38,015 [\text{mmcda}](13xx)$$

Se procede a calcular la presión dinámica en el tramo D-E, por lo que se realizan los cálculos para este tramo.

Para el diámetro D-E después de la unión D se tiene

$$Q_{DE} = Q_{AC} + Q_{CD} = V_{min} * A$$

$$0,942 \left[\frac{m^3}{s}\right] = 18 \left[\frac{m}{s}\right] * \frac{\pi * d_{DE}^2}{4}$$

$$d_{DE} = 258,093 [mm] \sim 230[mm]$$

Con este diámetro la velocidad real en el conducto será

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 0,23[m]^2}{4} = 0,0415 [m^2]$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,942[\frac{m^3}{s}]}{0,0415 [m^2]} = 22,665[\frac{m}{s}]$$

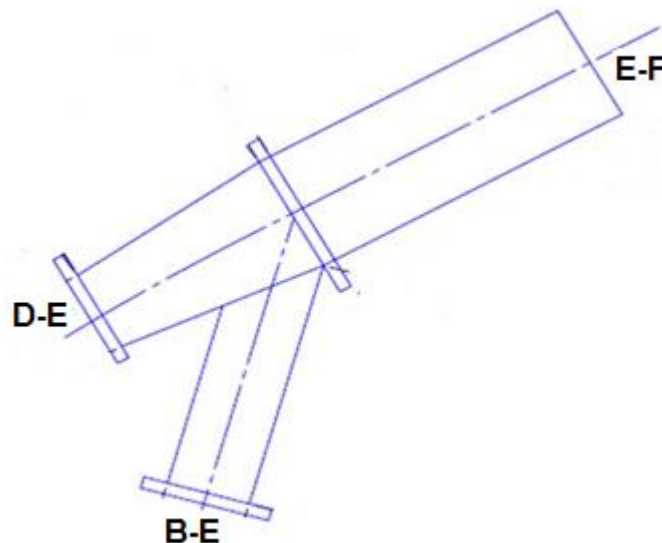
Y la presión dinámica en el conducto D-E

$$\begin{aligned} Pd_{DE} &= \frac{1}{2} * \rho * V^2 = \frac{1}{2} * 1,05[\frac{Kg}{m^3}] * \left(22,665 [\frac{m}{s}]\right)^2 * 0,1019 \frac{mmcda}{Pa} \\ &= 27,695 [mmcda] \end{aligned}$$

Se observa que la presión dinámica resultante es mayor que la presión dinámica en el conducto D-E ($38,015 > 27,695$) lo que quiere decir que el fluido se desacelera y no es necesario realizar correcciones por pérdida de presión estática.

Para unión E, se hace el mismo procedimiento

Figura 30. Unión E



Diámetro de tramo B-E

$$Q_{BE} = V_{min} * A$$

$$0,746 \left[\frac{m^3}{s} \right] = 18 \left[\frac{m}{s} \right] * \frac{\pi * d_{BE}^2}{4}$$

$$d_{BE} = 229,936 [mm] \sim 220 [mm]$$

Con este diámetro la velocidad real en el conducto será

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 0,22 [m]^2}{4} = 0,0380 [m^2]$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,746 \left[\frac{m^3}{s} \right]}{0,0380 [m^2]} = 19,631 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Y la presión dinámica en el conducto B-E

$$\begin{aligned} Pd_{BE} &= \frac{1}{2} * \rho * V^2 = \frac{1}{2} * 1,05 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * \left(19,631 \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2 * 0,1019 \frac{mmcda}{Pa} \\ &= 20,806 [mmcda] \end{aligned}$$

Entonces la presión estática en la unión E calculada en el tramo B-E

$$K_{Camapana} Pd_{BE} = (0,25 + 1) * 20,806 = 26,008 [mmcda]$$

$$\begin{aligned} K_{Tramo} Pd_{BE} &= \left(\left(\frac{27,8}{0,746^{0,079} * 220^{1,066}} \right) * 5 + \left(2 * \frac{2}{3} \right) \right) * 20,806 \\ &= 37,179 [mmcda] \end{aligned}$$

$$\Delta P_{BE} = P_B - P_E = 26,008 [mmcda] + 37,179 [mmcda] = 63,187 [mmcda]$$

$$P_{E1} = P_E = -63,187 \text{ [mmcda]}$$

Ahora la presión estática en la unión E se calcula en el tramo D-E, y se verifica el equilibrio de las presiones estáticas nuevamente.

$$\begin{aligned} K_{Tramo} P d_{DE} &= \left(\left(\frac{27,8}{0,941^{0,079} * 230^{1,066}} \right) * 3,5 + (0,44) \right) * 27,695 \\ &= 20,408 \text{ [mmcda]} \end{aligned}$$

$$\Delta P_{DE} = P_D - P_E = K_{Tramo} P d_{DE} + \Delta P_{Otras\ perdid\ as}$$

$$P_E = -101,73 \text{ [mmcda]} - 20,408 \text{ [mmcda]} = -122,161 \text{ [mmcda]}$$

$$P_{E2} = P_E = -122,161 \text{ [mmcda]}$$

Se puede observar presiones estáticas diferentes en cada conducto hasta la unión E ($P_{E1} \neq P_{E2}$), se realiza el procedimiento descrito anteriormente para equilibrar las presiones.

$$\frac{P_{E1}}{P_{E2}} = \frac{-122,161 \text{ [mmcda]}}{-63,187 \text{ [mmcda]}} = 1,93$$

Con un diámetro de 190 [mm] en el conducto B-E se tiene

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 0,19 \text{ [m]}^2}{4} = 0,0283 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,746 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]}{0,0283 \text{ [m}^2\text{]}} = 26,33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se calcula la nueva presión dinámica, las pérdidas en el tramo y se halla la presión estática

$$Pd_{BE} = \frac{1}{2} * \rho * V^2 = \frac{1}{2} * 1,05 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * \left(26,33 \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2 * 0,1019 \frac{mmcda}{Pa} = 37,400 [mmcda]$$

Como la presión dinámica ahora es mayor, se verifica nuevamente que el fluido no se acelere, si el fluido se acelera gana presión dinámica, en consecuencia, su presión estática disminuye y se deben hacer las respectivas correcciones por cambios velocidad. La presión dinámica resultante fue de 38,015 [mmcda] y la presión dinámica en el conducto D-E es de 37,400 [mmcda], esto significa que el fluido se desacelera y no se deben efectuar correcciones.

La pérdida de presión por accesorios y fricción en el conducto

$$K_{Camapana} Pd_{BE} = (0,25 + 1) * 37,400 = 46,750 [mmcda]$$

$$K_{Tramo} Pd_{BE} = \left(\left(\frac{27,8}{0,746^{0,079} * 190^{1,066}} \right) * 5 + (2 * 0,667) \right) * 37,4$$

$$= 69,696 [mmcda]$$

$$\Delta P_{BE} = P_B - P_E = 69,696 [mmcda] + 46,750 [mmcda] = 116,446 [mmcda]$$

$$P_E = P_{E2} = 69,696 [mmcda] + 46,750 [mmcda] = 116,446 [mmcda]$$

$$P_{E2} = P_E = -116,446 [mmcda]$$

$$\frac{P_{E1}}{P_{E2}} = \frac{-122,161 [mmcda]}{-116,446 [mmcda]} = 1,049 (< 20\%)$$

$$Q_{BECorregido} = 0,746 * \sqrt{1,049} = 0,764 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Ahora desde la unión E hasta la entrada del filtro, conducto E-F

$$Q_{EF} = V_{min} * A$$

$$1,706 \left[\frac{m^3}{s} \right] = 18 \left[\frac{m}{s} \right] * \frac{\pi * d_{EF}^2}{4}$$

$$d_{EF} = 347,447 [mm] \sim 250 [mm]$$

Con este diámetro la velocidad real en el conducto es

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 0,25 [m]^2}{4} = 0,0490 [m^2]$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1,706 \left[\frac{m^3}{s} \right]}{0,0490 [m^2]} = 34,766 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Y la presión dinámica será

$$\begin{aligned} Pd_{EF} &= \frac{1}{2} * \rho * V^2 = \frac{1}{2} * 1,05 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * \left(34,766 \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2 * 0,1019 \frac{mmcda}{Pa} \\ &= 65,162 [mmcda] \end{aligned}$$

Las pérdidas por fricción en el conducto y accesorios:

$$K_{Tramo} Pd_{EF} = \left(\left(\frac{27,8}{1,706^{0,079} * 250^{1,066}} \right) * 8,7 + (2 * 0,45) \right) * 65,162 = 100,623 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$\Delta P_{EF} = P_E - P_F = 100,623[\text{mmcda}] + 46,750[\text{mmcda}] = 116,446 [\text{mmcda}]$$

Se verifica que el fluido no se acelere en el tramo E-F, si el fluido se acelera se deben hacer las respectivas correcciones por cambios velocidad.

$$PD_r = \left[\frac{0,764 + 0,941}{4,043(0,0283 + 0,0415)} \right]^2 = 36,467 [\text{mmcda}]$$

La presión dinámica PD en el conducto E-F es mayor que la presión dinámica resultante PD_r de las dos corrientes de aire en los conductos secundarios, por lo que se debe tener en cuenta esta pérdida de presión estática por la aceleración del fluido.

$$\begin{aligned} \Delta P_{Por\ aceleración} &= PD - PD_r = 65,162[\text{mmcda}] - 36,467 [\text{mmcda}] \\ &= 28,695 [\text{mmcda}] \end{aligned}$$

Por lo que la presión estática P_F en la entrada del filtro es:

$$P_f = -116,446 - 122,161 - 28,695 [\text{mmcda}] = -251,479 [\text{mmcda}]$$

El filtro instalado será del tipo pulse jet, funciona con una diferencia de presión entre la cámara de aire limpio y la cámara de aire sucio, la máxima caída de presión en un filtro de mangas del tipo pulse jet es de 6 [InH₂O], con esta caída de presión se diseñan los ductos, entonces a la salida del filtro se tiene

$$P_f - P_G = \Delta P_{FILTRO} = 152,4[\text{mmcda}]$$

$$P_G = -251,479 [\text{mmcda}] - 152,4[\text{mmcda}] = -403,879[\text{mmcda}]$$

Para el conducto antes del ventilador se tiene

$$K_{Tramo}Pd_{GH} = \left(\left(\frac{27,8}{1,706^{0,079} * 300^{1,066}} \right) * 2,5 + (2 * 0,45) \right) * 31,424 = 29,3[mmcda]$$

$$P_G - P_H = K_{Tramo}Pd_{GH}$$

$$P_H = -403,879[mmcda] - 29,3[mmcda] = -433,179[mmcda]$$

Y a la salida del ventilador, en el conducto I-J

$$K_{Tramo}Pd_{GH} = \left(\left(\frac{27,8}{1,706^{0,079} * 300^{1,066}} \right) * 5 + (2 * 0,45) \right) * 31,424 = 34,090[mmcda]$$

$$P_I - P_J = K_{Tramo}Pd_{IJ}$$

$$P_I = 34,090[mmcda]$$

Para la selección del ventilador calculamos la presión estática del ventilador y la presión total del ventilador, se utiliza la presión con la que trabaje cada fabricante

$$PE_v = PE_E - PE_S - Pd_E$$

$$PT_v = PE_v + Pd_S$$

PE_E=Presión estática en la entrada

PE_S=Presión estática a la salida

Pd_S=Presión dinámica a la salida

Pd_E=Presión dinámica a la entrada

$$PE_v = 34,09 - (-433,18) - 31,42 = 435,84 [mmcda]$$

$$PT_v = 435,84 + 31,42 = 467,27[\text{mmcda}]$$

Para corroborar la hipótesis anterior en la cual se considerara el aire como un fluido incompresible se calcula el número de mach, si su valor es menor a 0,3 esta suposición es correcta.

La velocidad del sonido viene dada por:

$$C = \sqrt{\frac{K * R * T}{M}} \quad (21)$$

$$K = \frac{C_p}{C_v}$$

Donde:

C=Velocidad del sonido [m/s]

K=Constante del aire 1,4

Cp= Calor específico a una presión constante.

Cv= Calor específico a un volumen constante.

R= Constante universal de los gases = 8,314 kg·m²/mol·K·s²

M=Masa molar del aire 0,029 kg/mol

T= Temperatura del flujo en °K

$$M = \frac{V}{C} \quad (22)$$

M= Número de mach

V= velocidad del sonido

Entonces

$$C = \sqrt{\left[\frac{1,4 * 8,314 * 296,15}{0,029} \right]} = 344,76 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Para la mayor de las velocidades en ambos sistemas se tiene

$$M = \frac{37,66 \left[\frac{m}{s}\right]}{344,76 \left[\frac{m}{s}\right]} = 0,109$$

$$0,109 < 0,3$$

Por lo que el flujo es incompresible.

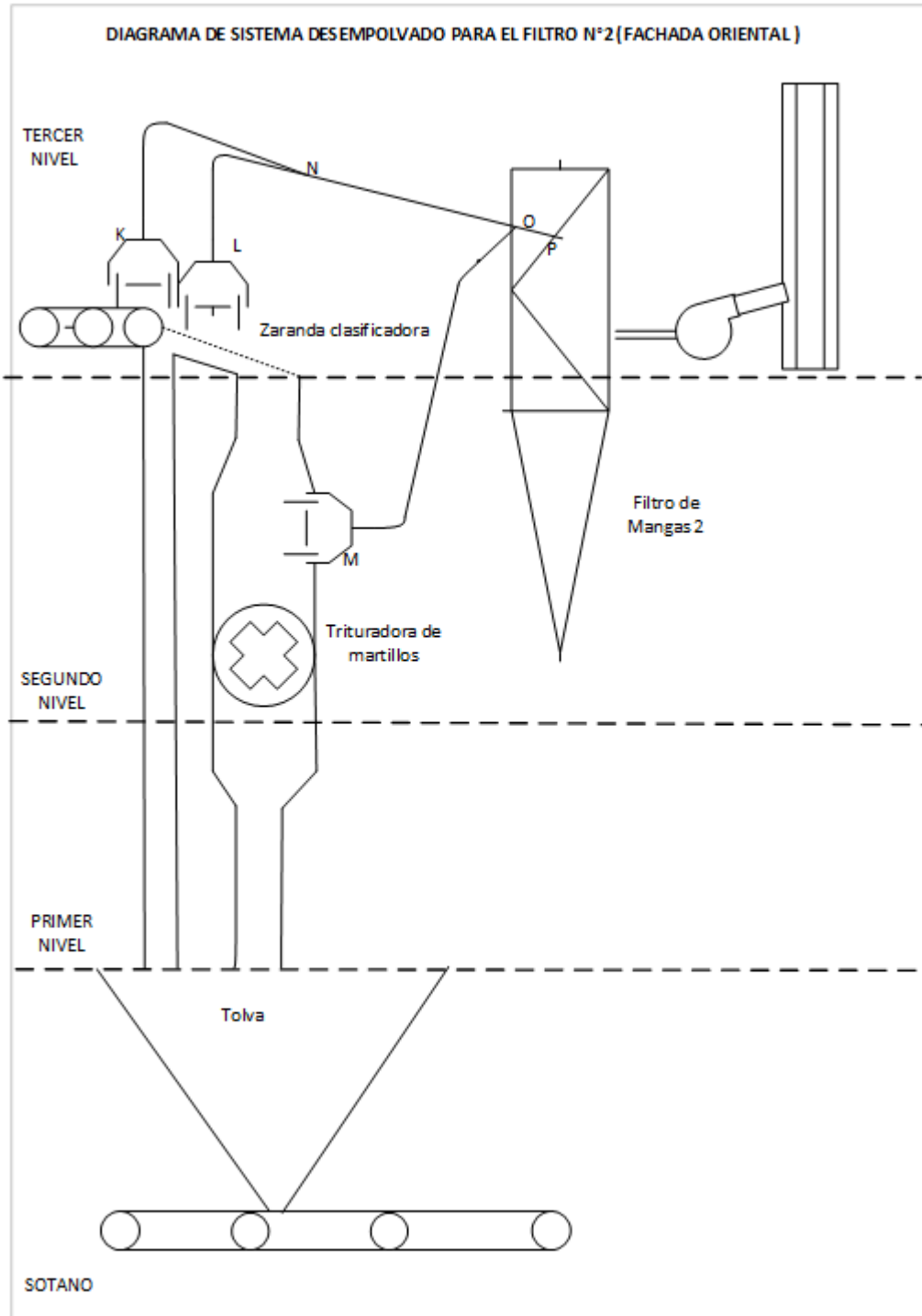
La figura 28 es el formato de hoja de cálculo recomendado en el manual de ventilación y resume todos los resultados obtenidos en el cálculo del sistema de extracción de aire contaminado para banda N° 2 y tolva de descarga.

Tabla 28. Hoja de cálculo del sistema de extracción de aire contaminado para banda N° 2 y tolva de descarga.

1	Identificación del tramo de conducto	A-D	C-D	C-D	D-E	B-E	B-E	E-F	1	G-H	I-J
2	Caudal [m3/s]	0,374531835	0,53228918	0,53228918	0,941708955	0,74679378	0,74679378	1,70660793	1,70660793	1,70660793	1,70660793
3	Velocidad mínima de transporte [m/s]	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
4	Dímetro del conducto [mm]	162,7658071	194,040608	194,040608	258,0935534	229,836581	229,836581	347,444696	347,444696	347,444696	347,444696
4.1	Dímetro normalizado del conducto [mm]	150	190	160	230	220	190	250	300	300	300
5	Sección del conducto [m2]	0,017671459	0,02835287	0,02010619	0,041547563	0,03801327	0,02835287	0,04908739	0,07068583	0,07068583	0,07068583
6	Velocidad real del conducto [m/s]	21,19416637	18,7737296	26,4738921	22,66580494	19,6456069	26,3392624	34,7667312	24,1435633	24,1435633	24,1435633
7	Presión dinámica [mmcda]	24,21588869	19,0006671	37,783599	27,69555212	20,8064809	37,4002884	65,1621572	31,4246514	31,4246514	31,4246514
8	S R área de la rendija [m2]										
9	U E Velocidad en rendija [m/s]										
10	C N Presión dinámica en rendija [mmcda]										
11	CD Fac. pérdida rendija: Fig. 5-15 o cap.10										
12	II Factor de aceleración										
13	O J Pérdidas en pleno (enPD) ítems 11+12										
14	NA PE en el pleno ítems 10x13 [mmcda]										
15	C Fac. pérdida entrada; fig. 5-15 o cap 10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
16	A Factor de aceleración	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	M Pérdida en entrada (PD) ítems 15+16	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
18	P Pérdida en la entrada ítems 7x17	30,26986086	23,7508339	47,2294987	26,0081011	46,7503605	26,0081011	46,7503605	152,4	28,6951386	28,6951386
19	Otras pérdidas [mmcda]										
20	Succ. En campana; ítems 14+18+19 [mmcda]	30,26986086	23,7508339	47,2294987	26,0081011	46,7503605	26,0081011	46,7503605		28,6951386	28,6951386
21	Longitud de conducto recto [m]	11,55	3	3	3,5	5	5	8,7	2,5	2,5	5
22	Factor de pérdidas (HF) Fig. 5-18 o ecuac.	0,14388844	0,10877467	0,13064333	0,084821022	0,09058147	0,10590357	0,0740461	0,06096702	0,06096702	0,06096702
23	Pérdidas en PD; ítems 2.1x22	1,661911479	0,32632402	0,39192998	0,296873579	0,45290735	0,52951785	0,64420106	0,15241755	0,15241755	0,3048351
24	N° de codos de 90°	1									2
25	Pérdidas en codos en PD; ítem 24 x factor	0,39									0,78
26	N° de uniones		1	1	1						
27	Pérdida en uniones en PD; ítem 26xfactor		0,28	0,28	0,44						
28	factor de pérdida de accesorios especiales	0,9	0,45	0,45	1,334	1,334	1,334	0,9			
29	Pérdidas en tramos en PD; ítems 23+25+27+28	2,951911479	1,05632402	1,12192998	0,736873579	1,78690735	1,86351785	1,54420106	0,93241755	0,93241755	1,0848351
30	Pérdidas en el tramo; ítem 7x29 [mmcda]	71,48315981	20,0708612	42,3905524	20,40812061	37,1792336	69,6961032	100,623472	29,3008965	29,3008965	34,0905649
31	Pérdida de PE en tramo; ítem 20+30 [mmcda]	101,7530207	43,8216951	89,6200511	20,40812061	63,1873548	116,446466	129,318611	-152,4	29,3008965	34,0905649
32	PE acumulada [mmcda]	-101,753021	-43,8216951	-89,6200511	-122,1611413	-63,1873548	-116,446466	-251,479752	-403,879752	-433,180648	34,0905649
33	PE controlante [mmcda]	-101,753021				-122,161141					
34	Caudal corregido [m3/s]			0,56717712				0,76489897			
35	Presión Dinámica resultante [mmcda]			38,0150882				36,4670186			

5.4.2 Diseño del sistema de extracción de aire contaminado para banda n° 1, zaranda vibratoria y trituradora de martillos.

Figura 31. Diagrama de sistema desempolvado para el filtro N°2



Para el diseño del sistema de extracción de aire contaminado para final de banda N°1, zaranda y la trituradora de martillos se sigue el mismo procedimiento. Los caudales de extracción se calculan según las recomendaciones de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

Para final de banda N°1 se recomienda un caudal de 0,54 [m³/s] por metro de ancho de banda, en la zaranda, se recomienda un caudal de 0,25 [m³/s] por área en metros cuadrados del tamiz y por último, la trituradora de martillos se modela como un ventilador^[6], por lo que se debe medir la velocidad del aire en la boca de la trituradora, multiplicarla por el área de la boca y aumentar el valor de caudal dado en un 50%.

Tabla 29. Velocidad de boca en trituradora

	Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	Promedio
Velocidad en boca de trituradora [m/s]	5,85	6,2	6,1	5,9	6,05	6,02

Tabla 30. Caudales en campanas

Campana	Caudal	Parámetro	Caudal estándar	Caudal corregido
K	0,54 [m ³ /s/mAnchobanda]	0,61 [m]	0,33 [m ³ /s]	0,374 [m ³ /s]
L	0,25 [m ³ /s/Azaranda]	Azaranda=3,457 [m ²]	0,864[m ³ /s]	0,980 [m ³ /s]
M	(V _{boca} *A _{boca})*(1+0,5)	V _{promedio} en boca=6,02[m/s] A _{boca} =0,21m ²	1,897 [m ³ /s]	2,152 [m ³ /s]

En la tabla 32 se muestra una hoja de cálculo de extracción de aire contaminado para banda N° 1, zaranda vibratoria y trituradora de martillos.

Tabla 31. Accesorios y longitud de cada tramo.

Tramo	Caudal mínimo [m ³ /s]	Longitud de tramo, [m]	Codos	Uniones
K-N	0,374	2	1 codos 45°	1 - 50°
L-N	0,980	1,8	1 codos 45°	
N-O	1,355	1,2		
M-O	2,154	5	1 codos 45°	1 - 80°
O-P	3,623	0,5	1 codos 45°	
Q-R	3,623	2,2	2 codos 90°	
S-T	3,623	2,5	2 Codos 90°	

Tabla 32. Hoja de cálculo del sistema de extracción de aire contaminado para banda n° 1, zaranda vibratoria y trituradora de martillos.

	K-N	L-N	L-N	L-N	N-O	M-O	O-P	2	Q-R	S-T
1 Identificación del tramo de conducto										
2 Caudal [m3/s]	0,374531835	0,98059244	0,98059244	1,36073793	2,15299058	3,62342082	3,62342082	3,62342082	3,62342082	3,62342082
3 Velocidad mínima de transporte [m/s]	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
4 Diametro del conducto [mm]	162,7658071	263,368043	263,368043	310,2459009	390,247268	506,265338	506,265338	506,265338	506,265338	506,265338
4.1 Diametro normalizado del conduco [mm]	150	250	250	225	250	350	350	350	350	350
5 Sección del conducto [m2]	0,017671459	0,04908739	0,03976078	0,049087385	0,09621128	0,09621128	0,09621128	0,09621128	0,09621128	0,09621128
6 Velocidad real del conducto [m/s]	21,19416637	19,9764652	24,6623027	27,72072548	22,3777367	37,661083	37,661083	37,661083	37,661083	37,661083
7 Presión dinámica [mmcda]	24,21588869	21,5132002	32,7895141	41,42637358	26,9960394	76,4633539	76,4633539	76,4633539	76,4633539	76,4633539
8 R área de la rendija [m2]										
9 UE Velocidad en rendija [m/s]										
10 CN Presion dinamica en rendija [mmcda]										
11 CD Fac. pérdida rendija: Fig. 5-15 o cap.10										
12 II Factor de aceleración										
13 O J Pérdidas en pleno (enPD) items 11+12										
14 NA PE en el pleno items 10x13 [mmcda]										
15 C Fac. pérdida entrada; fig. 5-15 o cap 10	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
16 A Factor de aceleración	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17 M Pérdida en entrada (PD) items 15+16	1,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
18 P Perdida en la entrada items 7x17	30,26986086	32,2698003	49,1842711	49,1842711	40,494059	40,494059	40,494059	152,4	40,6862071	40,6862071
19 Otras pérdidas [mmcda]				7,084026133						
20 Succ. En campana; items 14+18+19 [mmcda]	30,26986086	32,2698003	49,1842711	7,084026133	40,494059	40,494059	40,494059			
21 Longitud de conducto recto [m]	2	1,8	1,8	1,8	1,2	5	0,5		2,2	2,5
22 Factor de pérdidas (Hf) Fig. 5-18 o ecuac.	0,14388844	0,07735941	0,0855547	0,075382852	0,05078763	0,04874139	0,04874139		0,04874139	0,04874139
23 Pérdidas en PD; items 21x22	0,28777688	0,13924694	0,15579845	0,090459422	0,253393814	0,02437069	0,02437069		0,10723105	0,12185347
24 N° de codos de 90°									2	2
25 Pérdidas en codos en PD; ítem 24 x factor									0,78	0,78
26 N° de uniones	1					1				
27 Pérdida en uniones en PD; ítem 26xfactor	0,28				0,64					
28 factor de pérdida de accesorios especiales	0,45				0,45		0,45			
29 Pérdidas en tramos en PD; items 23+25+27+28	1,01777688	0,13924694	0,15579845	0,090459422	1,34393814	0,47437069	0,47437069		0,88723105	0,90185347
30 Pérdidas en el tramo; ítem 7x29 [mmcda]	24,64637163	2,99564727	5,10855558	3,747405806	36,281007	36,2719742	36,2719742		67,8406618	68,9587407
31 Pérdida de PE en tramo; ítem 20+30 [mmcda]	54,91623249	35,2654476	54,2928267	10,83143194	76,775066	36,2719742	36,2719742	-152,4	67,8406618	68,9587407
32 PE acumulada [mmcda]	-54,9162325	-35,2654476	-54,2928267	-65,74766443	-76,775066	-113,04704	-113,04704	-265,44704	-333,287702	-333,287702
33 PE controlante [mmcda]	-54,9162325			-76,77506598						
34 Caudal corregido [m3/s]			0,98620609	1,470430238						
35 Presión Dinámica resultante [mmcda]			34,3423475	35,77714678						

5.4.3 Diseño de filtros de mangas y cumplimiento de la normatividad. Para diseñar un filtro de mangas y cumplir con lo establecido en el artículo 72 de la Resolución 909 del 5 de junio del 2008 y garantizar así el cumplimiento de la norma ambiental, es necesario no exceder la concentración de máxima de material particulado a la entrada del filtro de manera que la emisión del contaminante no exceda los 150 [mg/m³] permitidos en este artículo, para el primer piso y sótano se tiene

$$C_{Filtro N^{\circ}1} = C_{PISOS} = \frac{C_{Primerpiso} * Q_{primerpiso} + C_{Sótano} * Q_{Sótano}}{Q_{primerpiso} + Q_{Sótano}} \quad (23)$$

$$= \frac{2,3 * 0,469 + 5,2 * 0,988}{0,469 + 0,988} = 4,266 \left[\frac{g}{m^3} \right] = 0,12 \left[\frac{g}{ft^3} \right]$$

Con un tamaño de partícula medio para ambos pisos

$$D_{particula} = \frac{18[m\mu] + 18[m\mu]}{2} = 18[m\mu]$$

De la figura 19, la eficiencia de un filtro de mangas con un tamaño de partícula de 18[μm] es del 98%. Para una concentración de material particulado a la entrada del filtro de 4,41 [g/m³] se puede determinar la concentración a la salida del filtro mediante

$$0,98 = \frac{C_{Entrada\ del\ filtro} - C_{Salida\ del\ filtro}}{C_{Entrada\ del\ filtro}} = \frac{4,266 \left[\frac{g}{m^3} \right] - C_{Salida\ del\ filtro}}{4,266 \left[\frac{g}{m^3} \right]}$$

$$C_{Salida\ del\ filtro} = 0,0853 \left[\frac{g}{m^3} \right] = 85,3 \left[\frac{mg}{m^3} \right]$$

Entonces, el flujo de contaminante para este filtro

$$\dot{m}_S = 5245,2 \left[\frac{m^3}{h} \right] * 0,0853 \left[\frac{g}{m^3} \right] * \frac{1}{1000} \left[\frac{kg}{g} \right] = 0,447 \left[\frac{kg}{h} \right]$$

De la tabla 15, con un flujo de contaminante a la salida del filtro de 0,447 [kg/h] y para actividades industriales existentes se tiene una concentración máxima de emisión 243,135 [mg/m³] establecida por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, por lo cual este sistema si cumpliría con la norma ambiental colombiana para la emisión de contaminantes.

Con la concentración y tamaño de partícula, se calcula la velocidad de filtración [7]

$$V_f = A * B * T^{-0,2335} * L^{-0,0621} (0,7471 + 0,0853 \ln D) \quad (24)$$

V_f= Velocidad de filtración (ft/min)

A = Factor del material figura 30

B = Factor de aplicación, de la figura 30

T = Temperatura, (°F, entre 50 y 275)

L = Concentración de entrada al filtro (gr/ft³, entre 0.05 y 100)

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

Y con el caudal de aire a extraer del primer piso y sótano se puede obtener el área de filtración

$$A_f = \frac{Q}{V_f} \quad (25)$$

A_f= Área de filtración

Q= caudal del aire a la entrada del filtro.

V_f= Velocidad de filtración

Para un diámetro y longitud de manga dado por el fabricante

$$A_b = \pi * D * L + \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (26)$$

A_b = Área de filtración de una manga [m^2]

D = Diámetro de la manga [m]

L = Longitud de la manga [m]

El número total de mangas es

$$N = \frac{A_t}{A_b} \quad (27)$$

N = Número total de mangas

A_t = Área de filtración [m^2]

A_b =Área de filtración de una manga [m^2]

En la figura 32, para un factor de material de 10 para *limestone* (caliza), un factor de aplicación de 0,9 para aire de transporte-ventilación y con una temperatura de 73° tenemos una velocidad de filtración de:

$$\begin{aligned} V_f &= 10 * 0,9 * 73^{-0,2335} * 0,12^{-0,0621} (0,7471 + 0,0853 \ln 18) \\ &= 3,74 \left[\frac{ft}{min} \right] = 0,0190 \left[\frac{m}{s} \right] \end{aligned}$$

Con el caudal de aire a manejar por el filtro N°1

$$Q_{Filtro} = Q_{Primer\ piso} + Q_{Sótano} = 1,138 + 0,567 = 1,705 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

El área filtrante es

$$A_f = \frac{Q}{V_f} = \frac{1,705}{0,0190} = 89,73[m^2]$$

El diámetro y longitud de una manga es dado por los fabricantes, para este caso D&F S.A., empresa dedicada a la ingeniería, fabricación, montaje y mantenimiento de equipos para el control de contaminación ambiental sugiere un diámetro y longitud de mangas de 150 [mm] y 3000[mm].

$$A_b = \pi * 0,15 * 3 + \pi * \left(\frac{0,15}{2}\right)^2 = 1,43 [m^2]$$

$$N = \frac{89,73[m^2]}{1,43[m^2]} = 62,74 = 65 \text{ mangas}$$

En la siguiente tabla se resumen los valores calculado para cada filtro

Tabla 33. Parámetros de filtro N°2 y N°1

Parámetros	Filtro para el tercer y segundo piso	Filtro para el primer piso y sótano
Caudal [m ³ /s]	3,507	1,706
Concentración a la entrada del filtro [g/m ³]	3,512	4,266
Eficiencia de filtrado %	98,3	98
Concentración a la salida del filtro [mg/m ³]	59,7	85,3
Flujo de contaminante [kg/h]	0,753	0,447

Máxima concentración a la salida según la norma [mg/m ³]	145,881	243,135
Velocidad de filtración [m/s]	0,0195	0,0190
Área de filtración [m ²]	179,84	89,74
Número de mangas	126	65

5.4.4 Línea de aire comprimido. La línea de aire comprimido es dada por la empresa fabricante y viene instalada en el filtro de mangas. Para este caso D&F S.A., empresa dedicada a la ingeniería, fabricación, montaje y mantenimiento de equipos para el control de contaminación ambiental da las siguientes especificaciones del sistema de limpieza por pulsos de aire comprimido para ambos filtros.

Tabla 34. Válvulas de limpieza

Válvulas de limpieza	
Marca	Goyen
Diámetro	1 ½" NPT
Tipo	Doble diafragma, solenoide integral
Referencia	CA-45-T2 1-1/2" NPT
Conexión	110 VDC, 60 Hz
Cantidad	6
Can velocity	209 ft/min
Material a captar	Cemento
Sección rectangular	2,853 x 1,360 mm
Consumo de aire comprimido	6cfm a 80 PSI en condiciones normales de funcionamiento.

5.4.5 Sistema de descarga. El sistema de descarga es dada por la empresa fabricante y viene instalada en el filtro de mangas. Para este caso la empresa D&F S.A. emplea el sistema de descarga con especificaciones dadas en la tabla 33.

Tabla 35. Válvula rotatoria

Sistema de descarga	
Tipo	Válvula rotatoria
Cantidad	1
Material a manejar	Caliza
Capacidad 100%	5 lt/rev
Temperatura de operación	Ambiente
Velocidad de giro	21 RPM
Diámetro del rotor	205,5 mm

Figura 32. Factor de material y factor de aplicación

A. Material Factor				
15 ^b	12	10	9.0	6.0 ^c
Cake mix	Asbestos	Alumina	Ammonium phosphate-fertilizer	Activated carbon
Cardboard dust	Buffing dust	Aspirin	Cake	Carbon black (molecular)
Cocoa	Fiborous and cellulosic material	Carbon black (finished)	Diatomaceous earth	Detergents
Feeds	Foundary shakeout	Cement	Dry petro-chemicals	Fumes and other dispersed products direct from reactions
Flour	Gypsum	Ceramic pigments	Dyes	Powdered milk
Grain	Lime (hydrated)	Clay and brick dusts	Fly ash	Soap
Leather dust	Perlite	Coal	Metal powder	
Sawdust	Rubber chemicals	Fluorspar	Metal oxides	
Tobacco	Salt	Gum, natural	Pigments metallic end synthetic	
	Sand	Kaolin	Plastics	
	Sandblast dust	Limestone	Resins	
	Soda ash	Perchlorates	Silicates	
	Talc	Rock dust, ores and minerals	Starch	
		Silica	Stearates	
		Sorbic acid	Tannic acid	
		Sugar		
B. Application Factor				
	Nuisance Venting		1.0	
	Relief of transfer points, conveyors, packing stations, etc.			
	Product Collection		0.9	
	Air conveying-venting, mills, flash driers, classifiers, etc.			
	Process Gas Filtration		0.8	
	Spray driers, kilns, reactors, etc.			

Fuente: James H. Turner, Particulate Matter Control

5.5. SELECCIÓN DE VENTILADORES PARA LA PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO DE LA SECCIÓN DE TRITURACION DE LA PLANTA CEMEX BUCARAMANGA

SELECCIÓN VENTILADOR FILTRO I:

Tabla 36. Caudales de aire a extraer para filtro de mangas I

PUNTOS A DESEMPOLVAR	CAUDALES DE AIRE A EXTRAER [CFM]	CAUDALES DE AIRE A EXTRAER [M3/S]
Campana final de cola de banda N-2	794	0.375
Campana de banda N-2 a 1 m del chute de descarga	1621	0.765
Campana de banda de tolva descarga	1202	0.567
CAUDAL A TRABAJAR FILTRO I	3617	1.707

DATOS PARA LA SELECCIÓN DE VENTILADOR PARA EL FILTRO I

Tabla 37: Datos para la selección de ventiladores filtro I

CAUDAL	3617
PRESION TOTAL	18.385[InH2O]
TEMPERATURA DEL AIRE A TRABAJAR	23°
ALTURA SOBRE NIVEL DEL MAR	954[m]
DENSIDAD DEL AIRE	1.060[Kg/m3]

NOTA: Para el proceso de selección de ventiladores se utiliza la herramienta del fabricante Casal ventiladores, que posee un fuerte motor de búsqueda dentro de su inventario, mostrando en pantalla los ventiladores que mejor se adaptan a nuestros criterios de diseño.

1.) Escribimos en el modulo Fanware by los parametros de selección del ventilador

Figura 33. Introducción de datos para la selección del ventilador I

Fuente: Casal Fanware lite

2.) Seleccionamos la mejor opción dentro del rango de ventiladores que ofrece el fabricante.

Figura 34. Selección de ventilador I

↕ código	↕ nombre	↕ caudal (CFM)	↕ presión (inH2O)	↕ RPM	potencia ↕	↕ Rendimiento	↕ tipo rendimiento	↕
5045050__R__	MTRU 500	3636.8	18.61	3400	22	83.12 %	Turbina	
5069112__R__	AATVP 1120	3742.33	19.7	1450	90	82.97 %	Turbina	
5065071__R__	AATVM 710	3645.39	18.7	2350	45	82.2 %	Turbina	
5065080__R__	AATVM 800	3658.77	18.83	2000	55	80.67 %	Turbina	
5067090__R__	AATVG/N 900	3664.01	18.89	1750	90	79.44 %	Turbina	
5047050__R__	MTGR 500	3643.78	18.68	3500 (turb. Clase II)	15	79.35 %	Turbina	
5065063__R__	AATVM 630	3676.3	19.01	2850	37	79.01 %	Turbina	
5065090__R__	AATVM 900	3671.14	18.96	1750	90	79 %	Turbina	
5067080__R__	AATVG/N 800	3688.14	19.14	2100	55	78.76 %	Turbina	
5067100__R__	AATVG/N 1000	3708.43	19.35	1550	132	78.44 %	Turbina	

Fuente: Casal Fanware lite

3.) Procedemos a analizar la curva característica del ventilador seleccionado en el ítem 2.

Figura 35. Curva característica del ventilador para filtro de mangas I

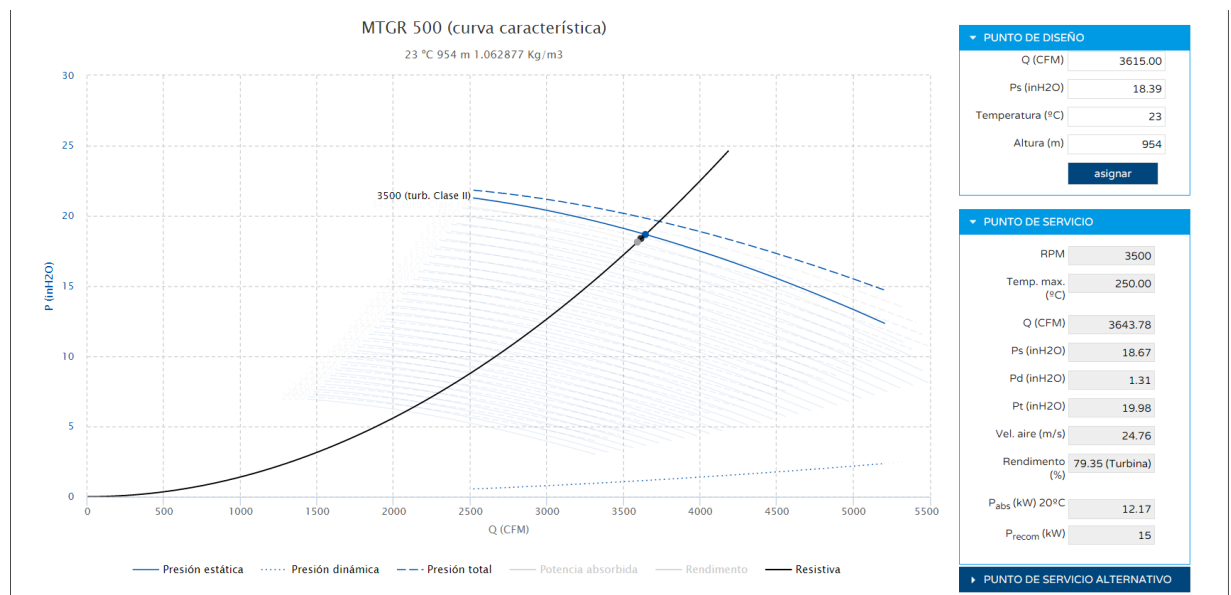


modelo

MTGR 500

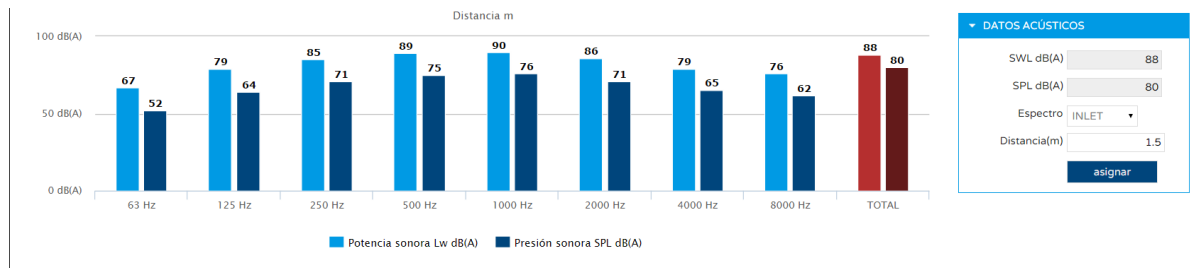
código

504705024R350



Fuente: Casal Fanware lite

Figura 36. Nivel sonoro del ventilador para filtro de mangas I



Fuente: Casal Fanware lite

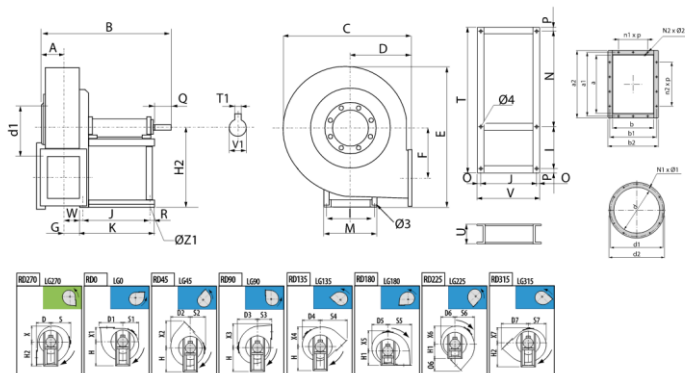
4.) Observamos las dimensiones del ventilador, para tener una idea en el espaciamiento del montaje.

Figura 37. Dimensiones del ventilador para filtro de mangas I

MTGR 500

A	B	C	D	E	F	G	H2	I	J	K	M	N1 x p	N2 x p	Nº agujero	Q	R
131	956	862	360	1000	396	119	600	364	477	560	418	1x125	2x125	10	110	33

S	T	V	a	a1	a2	b	b1	b2	d x Nº agu	d1	d2	Ø	Ø agujeros	Ø1	ØZ1
50	12	42	322	366	402	229	273	309	320x8	366	400	12	12	366	17



Fuente: Casal Fanware lite

5.) Concluimos en las características generales del ventilador seleccionado

Figura 38. Características generales del ventilador para filtro de mangas I

MTGR 500



modelo

MTGR 500

código

504705024R350

VENTILADOR A TRANSMISIÓN CON TURBINA A REACCIÓN

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Ventilador fabricado en chapa Fe360. La pintura de los ventiladores está formulada a base de poliéster en polvo Qualicoat polimerizada a 200°C con un grosor medio de 70 micras. La resistencia térmica media de la pintura es de 180°C con picos de 200°C.
- Carcasa totalmente soldada o engatillada.
- Turbina de álabes curvados hacia atrás (a reacción) de simple aspiración y alto rendimiento, fabricada en Fe360 equilibrada estática y dinámicamente. Las turbinas se pintan con imprimación epoxídica con una resistencia térmica de 300°C.
- Ventilador con motor montado sobre bancada (sistema 12). Equipo completo que incluye: motor, correas, poleas, protector de transmisión y eje
- Orientación estándar RD270.
- Permite variar la orientación en destino, en los modelos del 400 al 630. En los tamaños que van del 710 al 2000, la orientación es fija.

APLICACIONES

Diseñados para instalación en conducto, son indicados para:

- Procesos industriales, extracción o inyección localizada.
- Refrigeración de máquinas, enfriamiento de piezas.
- Transporte de aire limpio o ligeramente polvoriento.
- Transporte de aire polvoriento o con ligera carga de materiales granulados si pasar por el interior del ventilador
- Aspiración después de filtros, separadores y ciclones.
- Transporte neumático.
- Temperatura máxima de trabajo en continuo: aire transportado: 200°C, ambiente: 60°C.

BAJO DEMANDA

- Ventiladores para trabajar a 60Hz y voltajes especiales.
- Motor 2 velocidades.
- Ventilador a eje libre (sistema 1) o con motor en mochila (sistema 9).
- Ventiladores anticispas con motor certificado ATEX. Otras clasificaciones ATEX.
- Ventilador preparado con rodete de refrigeración para trabajar hasta 350°C.
- Ventilador fabricado en chapa galvanizada en caliente o acero inoxidable.
- Orientación: RD0, RD45, RD90, RD135, RD180, RD225, RD270, RD315, RD0, RD45, RD90, RD135, RD180, RD225, RD315.

ventilador

turbina rpm	peso aprox.	caudal máx.
3500	(s.1) 135 kg	5485.55 CFM

motor

potencia
15 kW

DATOS ERP

		Ficha ventilador	
Tipo de ventilador			
Categoría instalación	A	Aspiración e impulsión libre	
Categoría eficiencia	Estática		
El Vent debe ser instalado con VF	No		
Pot. motor (kW)	15		
	Valores Casals	Requisitos ErP	
		2013	2015
MAX Eficiencia (%)	80.07	0	0
Grado eficiencia (N)	0	0	0
P _{abs} (kW)	10.872		
Caudal (m ³ /h)	5289.18		
Ps (Pa)	5663.01		
Velocidad (rpm)	3500 (turb. Clase II)		
Ratio específico	1.00		

Fuente: Casal Fanware lite

SELECCIÓN VENTILADOR FILTRO II

Tabla 38. Caudales de aire a extraer para filtro de mangas II

PUNTOS A DESEMPOLVAR	CAUDALES DE AIRE A EXTRAER [CFM]	CAUDALES DE AIRE A EXTRAER [M3/S]
Campana trituradora (M)	4562	2.153
Campana de zaranda (L)	2089	0.986
Campana de final de banda N-1 (K)	792	0.374
CAUDAL A TRABAJAR FILTRO I	7443	3.51

Fuente: Autores

DATOS PARA LA SELECCIÓN DE VENTILADOR PARA EL FILTRO II

Tabla 39. Datos de entrada para la selección del ventilador II

CAUDAL	7443[CFM]
PRESION TOTAL	15.83[InH2O]
TEMPERATURA DEL AIRE A TRABAJAR	23°
ALTURA SOBRE NIVEL DEL MAR	954[m]
DENSIDAD DEL AIRE	1.060[Kg/m3]

Fuente: Autores

NOTA: Aplicamos la misma secuencia de selección de acuerdo al fabricante de ventiladores Casal. Luego el ventilador seleccionado que cumpla nuestras necesidades de diseño.

Figura 39. Características generales del ventilador para filtro de mangas II

Lite powered by CASAS


Identificarse BUSCAR

CURVA DIMENSIONES ESQUEMA DE CONEXIONES DATOS GENERALES ACCESORIOS RECAMBIOS DOCUMENTACIÓN

MTGR 710

VENTILADOR A TRANSMISIÓN CON TURBINA A REACCIÓN

ERp



modelo
MTGR 710

código
504707157R245

VENTILADOR A TRANSMISIÓN CON TURBINA A REACCIÓN

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Ventilador fabricado en chapa Fe360. La pintura de los ventiladores está formulada a base de poliéster en polvo Qualicoat polimerizada a 200°C con un grosor medio de 70 micras. La resistencia térmica media de la pintura es de 180°C con picos de 200°C.
- Carcasa totalmente soldada o engastada.
- Turbina de álabes curvados hacia atrás (a reacción) de simple aspiración y alto rendimiento, fabricada en Fe360 equilibrada estática y dinámicamente. Las turbinas se pintan con imprimación epoxídica con una resistencia térmica de 300°C.
- Ventilador con motor montado sobre bancada (sistema 12). Equipo completo que incluye: motor, correas, poleas, protector de transmisión y eje.
- Orientación estándar RD270.
- Permite variar la orientación en destino, en los modelos del 400 al 630. En los tamaños que van del 710 al 2000, la orientación es fija.

APLICACIONES

Diseñados para instalación en conducto, son indicados para:

- Procesos industriales, extracción o inyección localizada.
- Refrigeración de máquinas, enfriamiento de piezas.
- Transporte de aire limpio o ligeramente polvoriento.
- Transporte de aire polvoriento o con ligera carga de materiales granulados si pasar por el interior del ventilador.
- Aspiración de discos de filtros, separadores y ciciones.
- Transporte neumático.
- Temperatura máxima de trabajo en continuo: aire transportado: 200°C, ambiente: 60°C.

BAJO DEMANDA

- Ventiladores para trabajar a 60Hz y voltajes especiales.
- Motor 2 velocidades.
- Ventilador a eje libre (sistema 1) o con motor en mochila (sistema 9).
- Ventiladores antichispas con motor certificado ATEX. Otras clasificaciones ATEX.
- Ventilador preparado con rodete de refrigeración para trabajar hasta 350°C.
- Ventilador fabricado en chapa galvanizada en caliente o acero inoxidable.
- Orientación: RDO, RD45, RD90, RD135, RD180, RD225, RD270, RD315, RDO, RD45, RD90, RD135, RD180, RD225, RD315.

ventilador

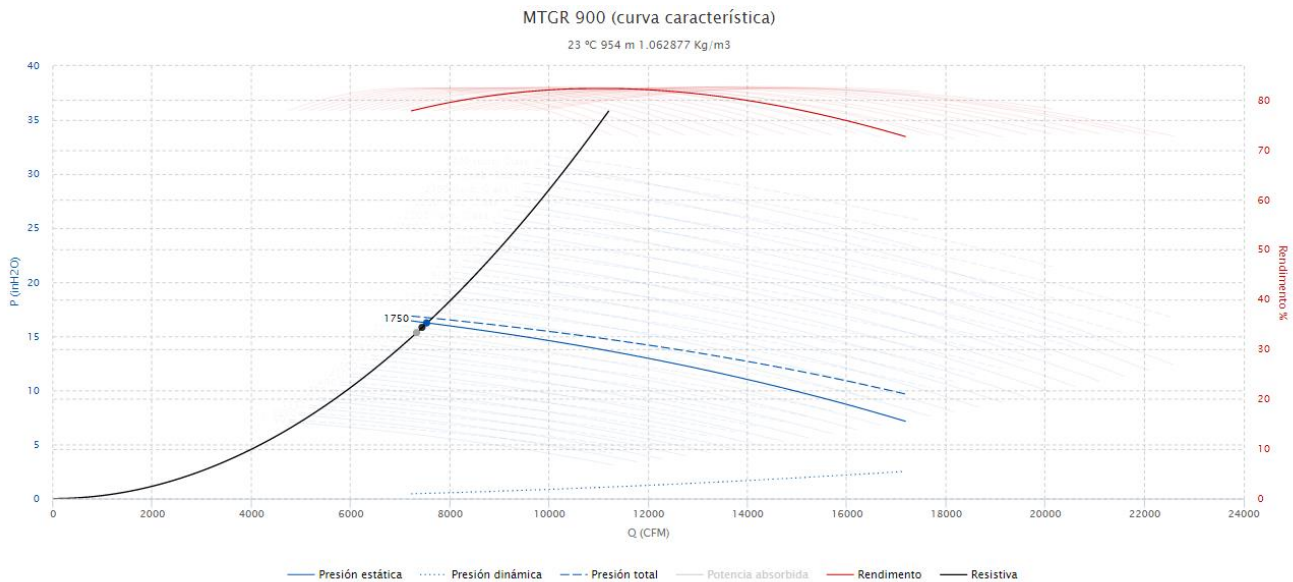
turbina rpm	peso aprox.	caudal máx.
2450	(s.1) 336 kg	14649.71 CFM

motor

potencia
30 kW

DATOS ERP

Figura 40. Curva característica del ventilador para filtro de mangas II



Fuente: Casal Fanware lite

6. ANALISIS DE COSTOS DE LA PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA DE DESEMPOLVADO DE LA SECCION DE TRITURACION PLANTA CEMEX BUCARAMANGA

Se entiende por presupuesto de proyecto como la determinación previa necesaria para realizar la implementación de este, donde tomamos como referencia la base de la experiencia adquirida en otras construcciones de índole semejante, presentes en la planta.

A continuación se presenta un presupuesto aproximado, tomando como base unidades medibles en números redondos y precios unitarios que no están muy detallados, cabe recalcar que este presupuesto aproximado no basta cuando el estudio se hace para financiar la obra, donde hay que detallar mucho más el monto monetario del proyecto.

Con la finalidad de evaluar el costo total de la implementación del nuevo sistema y dar un precio estimado que tendría que cubrir la empresa CEMEX S.A para su instalación y montaje, adoptamos el criterio convencional de costos basados en:

- Costos directos:
- Costos indirectos:

6.1 COSTOS DIRECTOS

Son los provenientes de los recursos directamente imputables a la actividad como son: mano de obra, maquinaria, materias primas entre otros.

- **Costos de materiales:** Representa los costos de materiales y equipos que serán instalados, para la propuesta de rediseño del sistema de

desempolvado de trituración se requieren los siguientes equipos y materiales.

NOTA: La tubería del sistema se hará por medio del proceso de roldado de lámina de acero -36 de espesor de espesor 3 [mm], se cotizó la lámina en la empresa STECKERL Aceros, con un dimensionamiento de lámina comercial de 1,2 [m] X 2,4[m] que posee un costo de \$ 128.000.

Para el procedimiento de lámina a utilizar, se hizo por el área proyectada de tramos de tubería planteada de la siguiente forma e el cálculo tipo para tubería de diámetro de 300 [mm].

$$P_i = 2\pi \left(\frac{D_t}{2} \right) \quad (26)$$

Donde: P_i : Perimetro de tubería en cada tramo

D_t = Diámetro característico de tubería de cada tramos

Conociendo P_i procedemos a multiplicar por la longitud del tramo (L_i) dándonos el valor del área a utilizar en la lámina (A_{Li})

$$A_{Li} = P_i \times L_i \quad (27)$$

Donde posteriormente procedemos a calcular el número de lámina de la siguiente forma:

$$N_{LAMINAS} = \frac{\sum A_{Li}}{A_{lamina}} \quad (28)$$

TUBERÍA Y ASCESORIOS

Tabla 40. Costos unitarios de lámina de acero A-36

DESCRIPCION	TOTAL DE ÁREA A UTILIZAR[m ²]	CANTIDAD DE LAMINA	COSTO TOTAL
Lamina de acero A-36 de espesor 3 [mm] para roldar tubería del sistema	47,88	17	\$ 2'176.000
Lamina de acero A-36 de espesor 3 [mm] para roldar y hacer accesorios y compuertas	8,64	3	\$384.000
Lamina de acero A-36 de espesor 3 [mm] para roldar y hacer campanas	8,64	3	\$384.000
Proceso de roldado de tubería	NA	NA	\$3'800.000
COSTO TOTAL			\$6'744.000

FILTROS Y VENTILADOR SUBSISTEMA 1

Tabla 41. Costos de equipos del subsistema 1 de desempolvado

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR CON IVA INCLUIDO
Filtro de mangas nuevo Marca D&F Capacidad de 7500 ACF (arreglo 8x12)	1	\$104'400.000
Ventilador centrifugo Marca D&F serie AH2019 Arr4 con motor Weg de 20 hp	1	\$15'250.000
Válvula rotatoria del sistema de descarga con capacidad de 5L/rev	1	\$ 7'192.000
COSTO TOTAL		\$126'842.000

FILTRO Y VENTILADOR SUBSISTEMA 2

El filtro de este subsistema ya se encuentra en la planta y fue comprado el año pasado por la compañía. El costo de este filtro se expresa a continuación.

Tabla 42. Costos de equipos del subsistema 2 de desempolvado

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR CON IVA INCLUIDO
Filtro de mangas nuevo Marca D&F Capacidad de 5886 ACFM (arreglo 6x12)	1	\$81'200.000
Ventilador centrifugo Marca D&F serie AH2019 Arr4 con motor de 40 hp	1	\$25'520.000
Válvula rotatoria del sistema de descarga con capacidad de 5L/rev	1	\$ 7'192.000
COSTO TOTAL		\$ 113'912.000

- **Costos de equipo y herramientas:** Corresponde al costo de horario de la maquinaria equipo en función de su vida económica, el costo por herramienta de mano, utilizadas en la ejecución del concepto de trabajo, por lo general se maneja como un porcentaje que estadísticamente se ha generalizado que va del 3 al 5% sobre el cargo de mano de obra. Para este análisis nos basamos en el costo mínimo correspondiente a herramienta menor. Y no a costos de horario que representa el alquiler de equipo pesado como grúas, camiones, soldadoras, compresores y otros equipos asociados con el montaje. Ya que estos equipos están presentes en la planta como activos de ella. Pero como una guía académica vamos a presentar estos costos como la firma encargada en el montaje e instalación del sistema.

Tabla 43. Costos de equipos y herramientas.

DESCRIPCION	COSTO X HORA	HORA-EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramientas menores	\$35.000	48	\$1'680.000
Costo de cargador 950 CAT, para transporte del filtro interno en la planta	\$220.000	3	\$660.000
Equipos de soldadura	\$40.000	20	\$800.000
Grúa P&H capacidad 20 Ton	\$350.00	5	\$1'750.000
Andamio modular	\$25.000	36	\$900.000
COSTO TOTAL			\$ 5'790.000

- **Costos de mano de obra:** La estimación de la mano de obra para la ejecución del proyecto representa un problema dinámico y sumamente complejo, ya que depende de parámetros como procedimientos constructivos de la instalación, herramientas, tecnología de montajes entre otros, esta complejidad varía también en la dificultad del montaje, la magnitud del proyecto, el riesgo o la seguridad en el proceso de implementación y puesta en marcha. En la construcción de este coste se representa por lo general en cifras estadísticas equivale a un rango porcentual de 29% a 40% del gasto total. La empresa CEMEX planta Bucaramanga cuenta con el equipo de mano de obra y talento humano capacitado para este tipo de montajes. Haciendo que sea mínima la participación personal de terceros para la obra requerida, sin embargo para determinar el costo estimado de la mano de obra, se tomó como base el salario mínimo por ley de acuerdo a las categorías ocupacionales del actual año 2016, para proveer un valor estimado.

TIEMPO PRESUPUESTADO PARA EL MONTAJE: 4 a 5 días (2 turnos de 8 horas)

Para programar el montaje del nuevo sistema de desempolvado se debe poseer el inventario suficiente de yeso, que garantice la plena elaboración del cemento en función de la demanda de este producto en el mercado.

Tabla 44. Costos de mano de obra

DESCRIPCION	CANTIDAD	SALARIO X TURNO DE LABORAL DE 8 HORAS	COSTO TOTAL
Ingeniero de montaje	1	\$138.000	\$ 1'380.000
Ingeniero eléctrico y automatización	1	\$138.000	\$414.000
Técnico electrónico	1	\$31.667	\$316.000
Técnico mecánico	3	\$ 31.667	\$948.000
Ayudantes mecánicos soldadores	5	\$23.000	\$1'150.000
VALOR TOTAL			\$4'208.000

- **Costo de transporte:**

Los costos de transporte son los costos relacionados en trasladar el nuevo filtro de mangas seleccionado junto con el ventilador y su respectivo motor, hacia la planta CEMEX planta Bucaramanga, este filtro se compraría en la empresa D & F (Diseño y fabricación de maquinaria S.A), proveedor de maquinaria neumática para CEMEX, la empresa D & F se encuentra ubicada en la ciudad de Envigado. Luego analizaremos el coste del flete terrestre.

Tabla 45. Costos de transporte

DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO DE TRANSPORTE	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Filtro de mangas-ventilador centrifugo-válvulas rotatorias	NA	\$1'800.000	1	\$1'800.000

6.2 COSTOS INDIRECTOS

Son todos aquellos costes del conjunto del proyecto y no de una tarea y necesitan alguna clave de reparto para su imputación: gastos de administración, seguridad y trámites administrativos

Tabla 46. Costos indirectos

DESCRIPCION	COSTO	PORCENTAJE
Dirección de diseño y auditoria del sistema antiguo	\$ 7'000.000	44,3%
Dirección de montaje	\$3'500.000	22,15%
Seguros de transporte	\$350.000	2,21%
Política de prevención de accidentes	\$1'200.000	7,59%
Costos financieros (procesos administrativos)	\$1'000.000	6,33%
Transporte de personal	\$850.000	5,38%
Alimentación del talento humano de montaje	\$400.000	2,53%
Costo e imprevistos (entre 8% y 10% de los costos indirectos)	\$1'500.000	9,5%
COSTO TOTAL	\$15'800.000	100%

6.3 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

El costo total estimado de la implementación del sistema de extracción localizada del sistema de desempolvado de la sección de trituración planta CEMEX, Bucaramanga la representamos con la sumatoria de los costos directo e indirectos basando en el enfoque de implementación siguiente:

- Instalación de tubería y accesorios
- Instalación y montaje de colector de polvos
- Instalación y montaje del sistema de potencia motor-ventilador
- Instalación y montaje de sistema de tablero de control PLC

COSTO ESTIMADO APROXIMADO DEL PROYECTO	\$ 275´096.000
---	-----------------------

7. CONCLUSIONES

- Se cumplió con el objetivo principal de reforzar los lazos entre la industria y la academia con este proyecto dando una propuesta de solución a la problemática ambiental presente en la empresa.
- Realizada la auditoria al sistema de extracción de aire contaminado se encontraron fallas en la implementación y funcionamiento del sistema que causan una inadecuada operación del mismo, se presentan velocidades de capturas y velocidades en los conductos menores a las mínimas para extraer el aire contaminado, fugas y falta de hermeticidad que hacen del sistema instalado un sistema ineficiente.
- Habiendo realizado la correspondiente auditoria se estudiaron los distintos factores que pueden afectar el funcionamiento el correcto de los sistemas de colección de polvos y una vez realizado los diferentes cálculos de diseño, se puede concluir que la propuesta planteada es una alternativa viable para dar solución al problema de polución en el área de trituración presente en la planta.
- Los aportes realizados por el talento humano de CEMEX con experiencia en estos sistemas fueron de vital importancia, para el desarrollo de este proyecto de grado.
- Se generó el modelamiento del proyecto en Solidworks con los respectivos planos y esquemas que permiten dar mayor claridad a los operarios del montaje y facilitando la coordinación de actividades de izaje del sistema.
- Se elaboró el manual de funcionamiento instructivo de operación y mantenimiento del nuevo sistema desempolvador .

- Generalmente, los fundamentos de dimensionamiento de los sistemas de ventilación industrial son completamente empíricos e incluyen factores y criterios de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists y fabricantes.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda verificar la red de aire comprimido de la empresa basada en los nuevos requerimientos para los dos filtros de mangas en la sección de trituración, pues dentro del alcance de este proyecto solo estaba estipulado establecer las demandas y recomendaciones dadas por el fabricante de filtros de mangas.
- Se debe hermetizar adecuadamente el sistema de transporte de material triturado dentro de esta sección, debido a que de nada sirve un sistema de extracción localizada óptimo si se encuentran fugas en el recorrido del material triturado.
- Se recomienda elaborar modelos matemáticos y simulaciones con herramientas informáticas, para filtros de mangas en futuros proyectos de grado, para no depender en gran medida de los datos de eficiencia filtración dados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists y

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Alfonso Ensenat. La industria del cemento dentro de la problemática de la contaminación atmosférica atmosférica, España, 1976, 2 p.

[2] Todd Swinderman, Andrew D. Mart, Larry J. Godbeck. El recurso Práctico para mejor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material, Foundations, EE.UU. 2009. 90 p.

[3] Juan Andrés Arias, Auditoria al sistema de desempolvado del área de trituración de caliza en la planta cerro Blanco de holcim Ecuador S.A, Tesis de grado, Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Litoral, 2006, 135 p.

[4] Carlos Alberto Echeverry, Diseño de filtros de talegas, Colombia, 2008, 56 p

[5] Industrial ventilation, American Conference of Governmental industrial Hygienists, EE.UU. 1988.

[6] Ing. Walter H. Duda, Manual tecnológico del cemento 292 p, España, Editores técnicos asociados, 1977, 292p

[7] James H. Turner, Baghouses and filters, US, Research Triangle Park 1998, 23p.

BIBLIOGRAFÍA

- **AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION**, 1999. Air pollution engineering manual. Van Nostrand Reinhold. New York.
- **AMERICAN CONFERENCE OF GOVERMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS**, Industrial ventilation, EE.UU. 1988
- **BENÍTEZ, J**, 1993. Process engineering and design for air pollution control. Prentice Hall. New Jersey.
- **COOPER, D. and ALLEY, F**, 1990. Air Pollution Control. New Jersey: Waveland Press.
- **CORBITT, R**, 1990. Standards handbook of environmental engineering. Mc Graw-Hill. New York.
- **DE NEVERS, N**, 1997. Ingeniería de control de la contaminación del aire. Mc Graw-Hill. México
- **E. ROBERTS ALLEY & ASSOCIATES, INC**, 2001. Manual de control de la calidad del aire. Mc Graw-Hill. México.
- **PERRY, R. and CHILTON, C**, 1986. Manual del ingeniero químico. vol. 5, McGraw-Hill. México, D. F.

ANEXOS

NOTA: Los anexos se encuentran en la carpeta “ANEXOS” en el CD.