



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABSORCIÓN DE POLVOS
PARA LA PLANTA DE PISOS DE LA EMPRESA
ECUACERÁMICA DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

DAVID PATRICIO PILAMUNGA RIGCHAG

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: TRABAJO TÉCNICO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Riobamba – Ecuador

2019

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

2018-09-24

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparada por:

PILAMUNGA RIGCHAG DAVID PATRICIO

Titulada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABSORCIÓN DE POLVOS PARA LA PLANTA DE
PISOS DE LA EMPRESA ECUACERÁMICA DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requisitos para el título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez
MIEMBRO

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PILAMUNGA RIGCHAG DAVID PATRICIO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABSORCIÓN DE POLVOS PARA LA PLANTA DE PISOS DE LA EMPRESA ECUACERÁMICA DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”

Fecha de Examinación: 2019 – 01 – 24

RESULTADOS DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marcelo Jácome PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez MIEMBRO DE TESIS			

*Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El presidente del tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marcelo Jácome
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORIA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso técnico establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos y los resultados son de exclusividad de autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Pilamunga Rigchag David Patricio

DECLARACIÓN DE AUTENCIDAD

Yo, David Patricio Pilamunga Rigchag, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Pilamunga Rigchag David Patricio

Cédula de Identidad: 060459231-1

DEDICATORIA

A mis padres, Juana Rigchag por sacrificarse día a día por mi bienestar y brindarme su amor, apoyarme en esta etapa importante de mi vida, a mi padre Luis Arturo Pilamunga quien supo aconsejarme de ser lo que quiero en la vida y nunca rendirme.

A mis hermanos, Verónica, Luis, Diego, Jessica, Cristina, Kevin, Mery por ayudarme a estar donde me encuentro hoy, sacrificándose y estando siempre para mí cuando los necesito. A todos mi familiares, amigos y compañeros que confiaron en mí y apoyaron.

A mi enamorada Joselyn que con su amor, paciencia y consejos apoyo todas mis ideas y a cada miembro de su familia que me acogieron y brindaron su mano cuando lo necesitaba.

A mis maestros que formaron parte de mi vida estudiantil, y que aportaron sus conocimientos para culminar una etapa más de mi vida.

David Patricio Pilamunga Rigchag

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme vivir con una familia maravillosa, que con su apoyo estuvieron día a día a mi lado alentándome para lograr lo que hoy soy. A mis maestros que realizaron el esfuerzo por transmitir los conocimientos para poder culminar la carrera de Ingeniería Mecánica. En general a la escuela Superior Politécnica de Chimborazo por acogerme y darme la oportunidad de crecer como persona y como estudiante.

A mis padres, Juana y Luis Arturo por ser el pilar fundamental de mi vida y brindarme su amor y apoyo incondicional. Por estar en los momentos difíciles y en cada objetivo que me he propuesto en mi carrera profesional. A mis hermanos y familiares por el sacrificio que realizaron día tras días con la finalidad de culminar mis estudios.

Agradezco a todas las personas que conocí durante el transcurso de mi carrera, a mis amigos por brindarme su tiempo, apoyo, y sincera amistad que me ayudó a nunca darme por vencido y culminar mi carrera.

De igual manera a la empresa ECUACERÁMICA, al ingeniero Carlos Campos por brindarme su tiempo y su invaluable ayuda y conocimientos.

David Patricio Pilamunga Rigchag

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

1.	MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1	Antecedentes.	1
1.2	Planteamiento del problema.	2
1.3	Justificación	3
1.3.1	<i>Justificación práctica.</i>	3
1.4	Objetivos	3
1.4.1	<i>Objetivo general.</i>	3
1.4.2	<i>Objetivos específicos.</i>	3
1.5	Determinación de la cantidad y características del polvo cerámico.	3
1.5.1	<i>Cantidad de polvo en zonas de estudio</i>	3
1.5.2	<i>Análisis experimental</i>	4
1.5.3	<i>Polvo generado en el proceso de fabricación de baldosas.</i>	7
1.5.3.1	<i>Elementos composicionales</i>	7
1.5.3.2	<i>Aspecto granulométrico</i>	7

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1	Antecedentes de la empresa Ecuacerámica.	8
2.1.1	<i>Misión.</i>	8
2.1.2	<i>Visión.</i>	9
2.1.3	<i>Ubicación de la empresa Ecuacerámica.</i>	9
2.1.4	<i>Proceso productivo.</i>	9
2.1.4.1	<i>Preparación de materias primas.</i>	10
2.1.4.2	<i>Atomizado.</i>	11
2.1.4.3	<i>Prensado.</i>	12
2.1.4.4	<i>Secado.</i>	13
2.1.4.5	<i>Esmaltado e impresión.</i>	14
2.1.4.6	<i>Cocción.</i>	14

2.1.4.7	<i>Clasificado y empaque.</i>	14
2.1.4.8	<i>Almacenamiento.</i>	15
2.2	Contaminantes del aire.	15
2.2.1	Características de los contaminantes en el aire.	15
2.2.1.1	<i>Monóxido de carbono (CO).</i>	15
2.2.1.2	<i>Dióxido de nitrógeno (NO₂).</i>	15
2.2.1.3	<i>Dióxido de azufre (SO₂).</i>	16
2.2.1.4	<i>Ozono (O₃).</i>	16
2.2.1.5	<i>Material particulado</i>	16
2.2.1.6	<i>Designación material particulado.</i>	17
2.2.1.7	<i>Niveles de calidad de aire expuestos a contaminantes particulados.</i>	17
2.2.1.8	<i>Tiempo de exposición a contaminantes particulados.</i>	18
2.3	Sistemas de ventilación industrial.	18
2.3.1	Ventilación general	19
2.3.2	Ventilación localizada	20
2.4	Componentes del sistema de extracción localizada.	21
2.4.1	Sistema de extracción.	21
2.4.1.1	<i>Encerramientos</i>	21
2.4.1.2	<i>Cabinas</i>	22
2.4.1.3	<i>Campanas exteriores</i>	22
2.4.2	Sistema de ductos.	25
2.4.2.1	<i>Tipos de ductos.</i>	26
2.4.2.2	<i>Material para sistema de ductos.</i>	26
2.4.2.3	<i>Componentes del sistema de ductos.</i>	26
2.4.2.4	<i>Pérdidas de energía.</i>	28
2.4.2.5	<i>Balance de conductos en un sistema de ventilación</i>	28
2.4.3	Depuradores de aire	29
2.4.3.1	<i>Precipitadores electrostáticos</i>	31
2.4.3.2	<i>Filtros de tela</i>	33
2.4.3.3	<i>Depuradores húmedos.</i>	36
2.4.3.4	<i>Ciclones.</i>	38
2.4.3.4	<i>Selección del depurador para el proyecto</i>	39
2.4.4	Ventiladores	40
2.4.4.1	<i>Ventilador centrífugo</i>	40
2.4.4.2	<i>Ventilador axial.</i>	42

CAPÍTULO III

3.	MÉTODOS Y TÉCNICAS	43
3.1	Diseño y selección de los componentes del sistema de absorción de polvo.	43
3.1.1	<i>Diseño de campanas de succión - A</i>	45
3.1.1.1	<i>Caudal mínimo en las zonas de estudio</i>	46
3.1.1.2	<i>Caudal que generan las distintas campanas.....</i>	47
3.1.2	<i>Diseño del sistema de ductos - B</i>	53
3.1.3	<i>Diseño de colector de polvo</i>	69
3.1.3.1	<i>Dimensionamiento de mangas - C.....</i>	70
3.1.3.2	<i>Velocidad de filtración (Relación aire/tela)</i>	71
3.1.3.3	<i>Número de mangas por columna</i>	72
3.1.3.4	<i>Tolva de descarga</i>	73
3.1.3.5	<i>Sistema de limpieza pulse-jet.....</i>	73
3.1.3.6	<i>Pérdidas de carga en el filtro de mangas</i>	75
3.1.4	<i>Selección del ventilador</i>	76
3.2	Simulación del equipo colector de polvo tipo mangas.....	77
3.2.1	<i>Software ANSYS.....</i>	77
3.2.2	<i>CFX-Pre Proceso</i>	78
3.2.3	<i>CFX-Solver Proceso</i>	80
3.2.4	<i>CFX-Post Proceso</i>	81

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS.....	82
4.1	Análisis de precios unitarios y presupuesto.	82
4.1.1	<i>Costos directos.</i>	82
4.1.1.1	<i>Costos de materiales.</i>	82
4.1.1.2	<i>Costos de mano de obra.</i>	84
4.1.1.3	<i>Costos de transporte.....</i>	84
4.1.2	<i>Costos indirectos</i>	85
4.1.3	<i>Costo total del proyecto.....</i>	85
4.2	Conclusiones	86
4.3	Recomendaciones	87

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1-1: Capacidad de penetración pulmonar de las partículas	2
Tabla 2-1: Zonas de estudio de la planta de pisos de la empresa Ecuacerámica.....	4
Tabla 3-1: Cantidad de polvo en cada zona de generación para un volumen de 0.0005 m3.....	6
Tabla 4-1: Peso total de cantidades de polvo en cada zona de estudio.	6
Tabla 1-2: Concentración de material particulado niveles en la calidad de aire.....	17
Tabla 2-2: Acciones a realizar de acuerdo a los niveles de calidad del aire.....	18
Tabla 3-2: Límites de la directriz de contaminantes tipo partícula.....	18
Tabla 4-2: Ecuaciones de diseño para diferentes tipos de campanas.....	24
Tabla 5-2: Intervalo de eficiencia de remoción para diferentes tipos de ciclones.....	38
Tabla 1-3: Condiciones ambientales lugar de instalación del sistema de extracción.....	43
Tabla 2-3: Flujo másico de polvo.....	46
Tabla 3-3: Tipo de campanas y dimensiones de las zonas generadoras de polvo.....	47
Tabla 4-3: Dimensiones de campanas de succión de acuerdo a sus parámetros.....	53
Tabla 5-3: Características de los componentes de cada tramo del sistema de ductos.....	54
Tabla 6-3: Diámetro de tramos de ductos y velocidades de transporte real del sistema.....	69
Tabla 7-3: Relación de aire / tela recomendadas.....	72
Tabla 8-3: Resumen estadístico del mallado.....	79
Tabla 9-3: Detalle de los datos de contorno.....	80
Tabla 1-4: Costos de materiales para sistema de conducción.....	83
Tabla 2-4: Costos de materiales para sistema de filtrado y extracción.....	83
Tabla 3-4: Costos de mano de obra.....	84
Tabla 4-4: Costos de transporte de materia y equipos.....	84
Tabla 5-4: Costos indirectos.....	85
Tabla 6-4: Costo total del sistema de extracción de polvo.....	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1: Recipiente de recolección de polvo en la descarga sobre silos izquierda.....	4
Figura 2-1: Recipiente con polvo cerámico en el elevador de cangilones N1.....	5
Figura 3-1: Medición de la cantidad de polvo en la zona descarga sobre silos.....	5
Figura 1-2: Ubicación de la empresa Ecuacerámica en la ciudad de Riobamba.....	9
Figura 2-2: Descripción del proceso productivo de baldosas.....	10
Figura 3-2: Molino de bolas para la trituración de materia prima.	11
Figura 4-2: Esquema del proceso de secado de la cerámica líquida.	11
Figura 1-2: Prensa hidráulica.....	12
Figura 2-2: Secador horizontal de baldosas cerámicas.....	13
Figura 3-2: Horno de rodillos utilizados en la cocción de las baldosas.....	14
Figura 4-2: Empaquetado de baldosas de acuerdo al tipo, dimensión y color.....	14
Figura 9-2: Clasificación de fuentes de material particulado.....	16
Figura 10-2: Ventilación General.....	19
Figura 11-2: Distribución del aire en el local.....	20
Figura 12-2: Componente que se utilizan en la ventilación industrial localizada.....	20
Figura 13-2: Encerramiento para la aplicación de pintura de automóviles.....	21
Figura 14-2: Cabina para laboratorio.....	22
Figura 15-2: Campana para tanque de superficie abierta.....	23
Figura 16-2: Campana de extracción con deflectores.....	23
Figura 17-2: Codo 90°.....	26
Figura 18-2: Entradas.....	27
Figura 19-2: Expansión y contracción.....	27
Figura 20-2: Compuerta de mariposa vista frontal.....	27
Figura 21-2: Principio de funcionamiento del precipitador electrostático.....	31
Figura 22-2: Precipitador electrostático placas – placas.....	32
Figura 23-2: Casa de bolsas con agitación por accionamiento manual.....	33
Figura 24-2: Casa de bolsas con limpieza aire a la inversa.....	34
Figura 25-2: Casa de bolsa de limpieza de chorro a pulso.....	34
Figura 26-2: Casa de bolsa con filtro de cartuchos montados verticalmente.....	35
Figura 27-2: Torre de relleno.....	36
Figura 28-2: Lavador de venturi.....	37
Figura 29-2: Recorrido de las líneas de flujo de aire contaminado y limpio en el ciclón.....	38
Figura 30-2: Ventilador centrífugo.....	40

Figura 31-2: Tipos de rodetes.....	41
Figura 32-2: Alabes curvos hacia adelante, radiales y curvos hacia atrás.....	41
Figura 33-2: Componentes del ventilador axial.....	42
Figura 1-3: Sistema de extracción localizada propuesta.....	43
Figura 2-3: Secuencia de diseño de componentes del sistema de extracción.....	45
Figura 3-3: Parámetros de diseño de campana suspendida.....	48
Figura 4-3: Campana con pestaña.....	48
Figura 5-3: Campana para Vibrotamiz N.2.....	49
Figura 6-3: Campana para Vibrotamiz N.1.....	50
Figura 7-3: Campana descarga sobre silos izq.....	50
Figura 8-3: Campana descarga sobre silos derecha.....	51
Figura 9-3: Campana zona elevador de cangilones N.2	52
Figura 10-3: Campana zona elevador de cangilones N.1.....	52
Figura 11-3: Diagrama unifilar de la distribución de ductos por la planta.....	54
Figura 12-3: Distribución de ductos en la planta.....	55
Figura 13-3: Estructura externa del colector de polvo tipo mangas.....	70
Figura 14-3: Filtro de mangas.....	70
Figura 15-3: Diseño recomendado de la tolva.....	73
Figura 16-3: Válvula solenoide de acero inoxidable.....	74
Figura 17-3: Ventilador centrífugo.....	76
Figura 18-3: Geometría del colector de polvo con filtro de mangas.....	78
Figura 19-3: Mallado de la Geometría del colector de polvo	79
Figura 20-3: Condiciones de frontera en el colector.....	80
Figura 21-3: Trayectoria de las líneas de flujo del aire.....	81

LISTA DE ANEXOS

Anexo A	Zonas generadoras de polvo cerámico
Anexo B	Velocidades de captura y transporte recomendadas
Anexo C	Factores de diseño de ductos de transporte
Anexo D	Selección equipo de control
Anexo E	Catálogo para la selección del ventilador
Anexo F	Catálogo de válvula solenoide
Anexo G	Proformas de materiales y equipos

RESUMEN

Este trabajo de titulación se refiere al Diseño de un sistema de extracción de polvo para el proceso de fabricación de baldosas de piso en la empresa Ecuacerámica de la ciudad de Riobamba, específicamente en el área de transporte y almacenamiento de materia prima. Dentro de los distintos sub-procesos para la fabricación de baldosas de piso están: la dosificación, molienda y atomizado que nos ayuda obtener un granulado con una humedad aproximadamente del 5%. Este producto se descarga en cintas transportadoras para luego ser almacenadas en silos, es aquí donde el trabajo se centra. El presente trabajo técnico es para evitar la dispersión de polvos ambiental cerámicos producidos durante el transporte de materia prima desde el atomizador hacia los silos, para evitar posibles daños en la salud de los operarios. La recolección del polvo acumulado en el piso y paredes (polvo ambiental) ayuda a disminuir su dispersión. Para la recolección del polvo ambiental es sugerido la implementación de un sistema de extracción localizado de polvo. El punto de partida para el diseño de cada componente del sistema de extracción es la recolección de datos de la cantidad de polvo ambiental generado en los sitios de estudios, con este valor se calculó el flujo másico del polvo. Se determinó las dimensiones de cada elemento del sistema basándonos en la norma internacional ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) garantizando especificaciones técnicas adecuadas que nos ayudan a obtener eficiencias altas en operación y retención del contaminante. Como resultado de este trabajo se obtuvo las dimensiones de cada elemento del sistema de extracción localizada, disminuyendo la acumulación de polvo en los lugares de estudio. La modelación de cada elemento del sistema de extracción se realizó mediante el software SOLIDWORKS, posteriormente se efectuó la simulación de equipo filtrador tipo mangas en el software especializado ANSYS para observar el comportamiento de las líneas de flujo del aire, comprobando la funcionalidad de este equipo. Mediante este análisis se puede garantizar la implementación del sistema propuesto en la empresa Ecuacerámica en la planta de pisos.

Palabras claves: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO>, <ESPECIFICACIONES TÉCNICAS>, <LÍNEAS DE FLUJO>, <SOLIDWORKS (SOFTWARE)>, <ANSYS (SOFTWARE)>; <TRANSPORTE DE POLVO>.

ABSTRACT

The current graduation work is based on the design of a dust extraction system for the floor tiles manufacturing process at Ecuacerámica Company from Riobamba, specifically for the transport and storage of raw material. Within the different sub-processes for manufacturing floor tiles are: dosage, milling and atomizing, this helps us having granulated with a humidity of 5% approximately. This product is put on conveying belts and then stored in silos, this part of the process is considered as the most important. The current technical work is carried out to avoid the dispersion of ceramic dust produced during the transport of raw material from the atomizer to the silos in order not to have any health problem with the workers. The dust collection from both floor and walls (environment dust) helps diminish its dispersion. For collecting the environment dust, it is necessary to implement a focused dust extraction system. The starting point for the design of each extraction system component is the data collection regarding to the amount of environmental dust generated in the field; with this value it was possible to calculate the gross-dust flow. The dimension of each system element was determined based on ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) international norm, this guaranties appropriate technical specifications that help obtaining high efficiency when handling and retaining the pollutant. As a result, the dimensions of each element of the focused extraction system were obtained to guaranty the reduction of accumulated dust in the field. The modeling of each element of the extraction system was carried out with the use of SOLIDWORKS software. Then it was necessary to go on with the simulation of the air bag filter system with the use of ANSYS specialized software to observe the trajectory of the air-flow lines and the deposit of the material in the discharge chamber of the dust collector. The aspects mentioned before assure the functionality and implementation of the system proposed by Ecuacerámica Company in the floor plant.

Key words: <ENGINEERING SCIENCES AND TECHNOLOGY> <TRANSPORT AND STORAGE> <TECHNICAL SPECIFICATIONS> <FLOW LINES> < SOLIDWORKS (SOFTWARE)> <ANSYS (SOFTWARE)> < DUST TRANSPORT>

INTRODUCCIÓN

La empresa Ecuacerámica se dedica a la fabricación de baldosas, las etapas del proceso de fabricación de estas son: preparación de materias primas, atomizado, prensado, secado, esmaltado, cocción entre otras. En cada etapa de este proceso se puede encontrar partículas de polvo en grandes o pequeñas cantidades. Mediante un recorrido por la empresa visualizando las zonas donde se genera polvo se detectó en particular ciertas áreas. El polvo generado por las distintas fuentes se acumula en el piso y paredes de estas zonas, esta acumulación mediante el viento provoca el levantamiento del polvo (dispersión) en el interior de la empresa. Generando pérdidas de materia prima y molestias en la salud del personal de la empresa. Se estableció que las bandas que transportan el material particulado, lugares de almacenamiento y zonas donde se filtran las partículas cerámicas (vibro tamices) son críticas.

Existen dos tipos de polvo el ambiental y personal, el presente trabajo técnico se presenta como solución al polvo ambiental generado, ya que al disminuir la cantidad de este tipo de polvo se evidenciará la disminución de concentración polvo personal en el aire. La recolección de polvo ambiental se realiza mediante caudales de aire que llevan a campanas de extracción, transportando este material por ductos y separando el polvo del aire con la ayuda de filtros de mangas. El aire limpio es expulsado al ambiente exterior, todo este proceso se realiza con la ayuda de un ventilador centrífugo. Al conjunto de los componentes mencionados se denomina sistema de extracción localizada.

La descripción de cada etapa del proceso de fabricación de baldosas, la distribución de maquinaria, los distintos sistemas mecánicos, contenedores de materias primas, entre otros nos ayudan a establecer variables físicas que posteriormente se necesitó para el diseño y selección de los componentes del sistema de extracción localizada.

Uno de los componentes a seleccionar es el filtro, que nos ayuda a separar el contaminante del aire con la mayor eficiencia. Este equipo es de mucha importancia, ayudando a mantener la concentración de polvo personal en los límites permisibles de acuerdo a las normativas vigente. Para la selección del equipo colector de polvo del proyecto se realizó un estudio minucioso de alternativas de sistemas de colectores de polvo utilizado en la industria. La selección del equipo se realizó tomando mediante los

parámetros como: lugar de instalación del equipo, tipo y cantidad total del contaminante, entre los más importantes.

El sistema consta de campanas de succión, un sistema de ductos, un colector de polvo, un ventilador centrífugo y una chimenea de evacuación. El diseño del sistema parte con el dimensionamiento y selección del tipo de las campanas de succión ubicadas en cada área crítica, el cálculo de los diámetros y longitudes de cada tramo de los ductos. Selección del ventilador y colector de polvo. Finalmente se diseña una chimenea que nos ayude evacuar el aire con la menor cantidad del contaminante posible.

Debido a las dimensiones del colector de polvo se optó por desarrollar un prototipo semejante del equipo real, con menor número de mangas. Con este prototipo se realizó la simulación de las líneas de flujo mediante el programa especializado para fluidos ANSYS dentro del equipo depurador de polvo con la finalidad de observar el comportamiento del polvo-aire bajo las condiciones del proyecto.

El valor del presupuesto total que se debe disponer para la implementación de la ejecución del proyecto, se realizó mediante un análisis de precios unitarios y presupuesto. Involucrando el costo de cada elemento del sistema acompañado de sus respectivos rubros.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes.

La fabricación de baldosas cerámicas siempre ha generado polvo siendo esto inevitable. Este inconveniente se ha visto reflejado en la pérdida de grandes cantidades de materia prima y consecuentemente a condicionar la salud de los operarios. Esta pérdida de materia prima se evidencia desde tiempos atrás, cuando la fabricación de cerámicas se realizaba de manera artesanal, en esta época el desperdicio de polvo cerámico era menor gracias al control de las personas al estar presentes en su totalidad en cada etapa de la elaboración de cerámicos. Pero el riesgo de incidir en la salud de la persona era mayor. En la actualidad este proceso se realiza con la ayuda de sistemas mecánicos que remplazaron al ser humano, de esta manera surgieron cambios. El control total de la persona en cada etapa de elaboración disminuyó, pero el cambio de la materia prima de un sub proceso a otro causó pérdidas del mismo. Como se mencionó anteriormente este problema será inevitable. Debido que soluciones como cambios físicos y técnicos en estos sistemas mecánicos no son suficientes, por lo que se viene implementando en la actualidad otra solución factible como la utilización de sistemas de absorción.

Los sistemas de absorción de polvo se utilizaban para mantener limpio los lugares de trabajo, más no para controlar la contaminación ambiental. El funcionamiento de estos sistemas era similar a una aspiradora. Durante estos últimos 50 años estos sistemas se han mejorado desde el punto tecnológico y mecánico. Estos sistemas de absorción en la actualidad se utilizan para el control de contaminantes ambientales, siendo estos contaminantes sólidos o gaseosos (Orrala, 2010, p.16).

En la industria la utilización de sistemas de absorción de contaminantes ha venido creciendo debido a los problemas de salud que los trabajadores expuestos a estos contaminantes han presentado y la pérdida de materia prima. Estos sistemas se pueden aplicar al control de cualquier tipo de contaminante del aire, cambiando algunos parámetros en las etapas de cálculos para el diseño y selección de cada elemento de este sistema de absorción.

Previo al diseño del sistema es necesario conocer la cantidad de polvo ambiental - aire a extraer del lugar de importancia, esto se llevó a cabo con la recolección de muestras en las zonas de estudio en un determinado tiempo. Conociendo estos valores se inicia el diseño de los componentes del sistema de absorción (Nivelo y Ugalde, 2011)

1.2 Planteamiento del problema.

La fabricación de baldosas de piso como de pared se lo realiza por medio del proceso cerámico que engloba varios sub procesos que a su vez estos generan grandes cantidades de polvo. Este inconveniente se debe al aumento de una línea de producción que conlleva el aumento de líneas de transferencia de pasta, bandas transportadoras, otra prensa y un sinnúmero de elementos. El control de cantidad de polvo ambiental que se acumula en distintos lugares de producción genera inconvenientes en el mantenimiento de las máquinas y limpieza en sus alrededores. Llevando a pérdidas de materia prima que se podría reutilizar y llevar nuevamente a generar la pasta.

Otro inconveniente consecuente a la acumulación de polvo ambiental es la dispersión de polvo personal (ingresa al sistema respiratorio), debido a su tamaño PM10 y PM 2.5 este polvo permanece más tiempo suspendido en el aire. Como muestra la tabla 1-1, el tamaño de partícula del contaminante particulado influyen en la penetración en el organismo. En el proceso de baldosas de piso se tiene un tamaño de partícula equivalente de 90 μm .

Tabla 1 – 1: Capacidad de penetración pulmonar de las partículas

Tamaño de partículas	Capacidad de penetración pulmonar
>100 micras	No pueden inhalarse
100-500 micras	Suelen retenerse en la nariz y garganta
<50 micras	Penetran en los pulmones
<5 micras	Penetran hasta el alveolo pulmonar

Fuente: Mayorga, 2015, p. 12

Realizado por: David Pilamunga

El polvo personal es el más peligroso para la salud de los trabajadores, como se observa en la tabla 1-1 tamaños de partículas sumamente pequeñas son las que ingresan en órganos del sistema respiratorio quedándose ahí y causando serios problemas respiratorios.

El uso de un sistema que ayude a capturar el polvo ambiental antes que este se disperse es la finalidad del proyecto. Actualmente la planta de pisos consta de un colector de polvo que ayuda a la colección del mismo para la línea de producción correspondiente. La empresa implemento una línea nueva de producción creando nuevos sitios de generación de polvo.

En cada área donde se genera la dispersión de polvo cerámico, se ha visualizado las operaciones por las que se producen esta dispersión y desperdicio. Donde la fuga de polvo es inevitable y acciones correctivas de la estructura y funcionamiento del equipo no será de mucha utilidad.

Luego de un recorrido técnico por las distintas operaciones de fabricación de baldosas, se visualizó la pérdida y dispersión del material particulado, las áreas se detallan en la tabla 1 del anexo A.

1.3 Justificación

1.3.1 *Justificación práctica.*

Las distintas acciones que conlleva a la pérdida de materia prima (polvo cerámico) en su mayoría no pueden ser corregidas debido al diseño del proceso de producción de baldosas. Como anteriormente se detalló la implementación de un sistema de absorción de polvo sería la más adecuada, ayudando a la empresa a la disminución y reutilización de materia prima en las áreas descritas en la tabla 1 del anexo A. Acortando los turnos de limpieza en estas áreas, obteniendo un lugar de trabajo apropiado y libre de contaminante particulado en el aire.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general.*

Diseño de un sistema de absorción de polvos para la planta de pisos de la empresa Ecuacerámica de la ciudad de Riobamba.

1.4.2 *Objetivos específicos.*

- Detallar el proceso de producción de baldosas de la empresa
- Enunciar alternativas de colectores de polvo
- Diseñar y seleccionar los diferentes componentes del sistema de extracción.
- Realizar la simulación del colector de polvo mediante el programa especializado ANSYS.
- Realizar un análisis precios unitarios y presupuesto del sistema propuesto.

1.5 Determinación de la cantidad y características del polvo cerámico.

1.5.1 *Cantidad de polvo en zonas de estudio*

Los distintos subprocesos de la fabricación de baldosas generan en pocos o grandes cantidades de polvo, que llegan a desperdiciarse y generar en circunstancias graves molestias a la salud de los operarios por la dispersión de este contaminante particulado. En el anexo A se detalla las áreas donde se genera el polvo llegando a determinar que la limpieza o soluciones en los mecanismos de las maquinas no era suficiente para dar solución a este problema. De estas áreas se llegó a determinar los puntos específicos para la cuantificación de la cantidad de polvo generado. El anexo A contiene imágenes de las zonas generadoras de polvo que se describe en la tabla 2-1.

Tabla 2 – 1: Zonas de estudio de la planta de pisos de la empresa Ecuacerámica.

Zona	Nomenclatura
VIBROTAMIZ N.2	V.T.2
VIBROTAMIZ N.1	V.T.1
DESCARGA SOBRE SILOS IZQUIERDA	D.S.I
DESCARGA SOBRE SILOS DERECHA	D.S.D
ELEVADOR DE CANGILONES. N2	E.C.2
ELEVADOR CANGILONES. N1	E.C.1

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

1.5.2 *Análisis experimental*

Mediante la utilización de recipientes plásticos de volumen de 0,5 litros se ha recolectado cantidades de polvo en las zonas que la tabla 2-1 describe. Se ubicaron los recipientes de plástico junto a las fuentes generadoras de polvo como se muestra en la figura 1-1. Tomando la fecha y hora en el momento de la instalación y retiro de los recipientes.

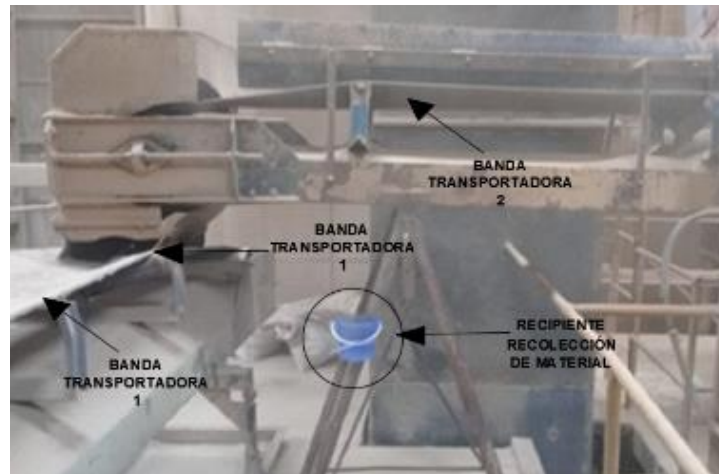


Figura 1 – 1: Recipiente de recolección de polvo en la descarga sobre silos izquierda.

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

Una vez instalado los recipientes, se mantuvo estos en su lugar un determinado tiempo para la recolección de polvo, recolección no sufrirá cambios o se verá afectada debido que la producción de baldosas es continua. Una vez transcurrido el tiempo se recogió los recipientes, colectando cantidades de polvo como se muestra en la figura 2-1.



Figura 2 – 1: Recipiente con polvo cerámico en el elevador de cangilones N1.

Fuente: David Pilamunga, 2018.

Realizado por: David Pilamunga

Se procedió a pesar cada recipiente figura 3-1, y a su vez el peso del mismo recipiente con la finalidad de obtener el peso neto de las cantidades de polvo recolectadas en cada zona.



Figura 3 – 1: Medición de la cantidad de polvo en la zona descarga sobre silos.

Fuente: David Pilamunga, 2018.

Realizado por: David Pilamunga

La tabla 3-1 muestra los valores del peso de cantidades de polvo. Estos valores son para un volumen de 0.5 litros que tiene el recipiente. También se detalla el tiempo de exposición del recipiente a la fuente generadora de polvo.

Tabla 3 – 1: Cantidad de polvo en cada zona de generación para un volumen de 0.0005 m³.

Zona	Peso (Kg)	Tiempo de exposición (h)
VIBROTAMIZ N.2	0.066	162
VIBROTAMIZ N.1	1.202	162
DESCARGA SOBRE SILOS IZQUIERDA	0.225	195
DESCARGA SOBRE SILOS DERECHA	0.225	195
ELEVADOR DE CANGILONES. N2	0.065	162
ELEVADOR CANGILONES. N1	0.105	29

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

Como anteriormente se mencionó la cantidad de polvo en peso es para un volumen igual al del recipiente. Para conocer el valor total de polvo generado por la fuente se estableció un valor del volumen, valor que se tomó midiendo el lugar donde este equipo generador de polvo está situado o instalado. A continuación, se detalla el valor del volumen y la cantidad de polvo real que genera la fuente.

Tabla 4 – 1: Peso total de cantidades de polvo en cada zona de estudio.

Zona	Volumen (m³)	Peso total (Kg)
VIBROTAMIZ N.2	9	1188
VIBROTAMIZ N.1	7	16828
DESCARGA SOBRE SILOS IZQUIERDA	8	3600
DESCARGA SOBRE SILOS DERECHA	8	3600
ELEVADOR DE CANGILONES. N2	10	1300
ELEVADOR CANGILONES. N1	3.5	735

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

Una vez determinado el peso total en cada zona, es útil determinar el flujo másico ya que será de gran ayuda en el capítulo correspondiente al diseño del sistema de absorción.

1.5.3 Polvo generado en el proceso de fabricación de baldosas.

1.5.3.1 Elementos composicionales

El polvo es un contaminante particulado del aire, sus elementos de composición dependen de la fuente de generación. Fuentes de generación fijas de contaminante particulado son las industrias. La industria cerámica se dedica a la fabricación de productos cerámicos mediante procesos tecnológicos que permiten una mayor calidad del producto.

La materia prima utilizada de forma general son polvos minerales naturales como cuarzo, feldespatos, nefelina, talco, magnesita, olivino, cromita, grafito, minerales de Li y zircón. El uso de rocas como arcillas comunes, caolines, bauxitas, basaltos, vidrios volcánicos y caliza (Galán y Aparicio, 2011)

1.5.3.2 Aspecto granulométrico

Para garantizar un producto cerámico de calidad se verifica la calidad de la materia prima, que depende de la forma y tamaño de las partículas de polvo. La fabricación de baldosas en el área de atomizado se tiene una forma toroidal con un diámetro equivalente de partícula en un intervalo 90 a 100 μm para garantizar una pasta y producto terminado de calidad que cumpla con las características técnicas y estéticas de las baldosas. (Guiseppe y Revel, 2006)

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la empresa Ecuacerámica.

En el año de 1960 en el mes de septiembre se crea en Riobamba C.A. Ecuatoriana de Cerámica en un complejo industrial, fabricando vajillas, porcelana sanitaria y cerámica artística. Desde su creación estos productos son de alta calidad y precio razonable. Llegando a exportar sus productos a diversos países como: Chile, Perú, Colombia, Panamá y Estados Unidos. Lo que ha llevado a ser una de las mejores empresas de cerámicas cumpliendo las normativas técnicas y siendo otorgada el sello de calidad por parte de INEN (Castillo, 2011, p.2)

En la actualidad sus instalaciones aumentaron, obteniendo dos plantas asentadas en la ciudad de Riobamba. Una destinada para la producción de baldosas de pared y otra para la producción de baldosas de piso. En el año de 1990 el espíritu de progreso y crecimiento es implementado en la empresa por parte del grupo Eljuri que toma la mayoría de acciones en el capital de Ecuatoriana de Cerámica (Castillo, 2011, p.3)

El presidente decide la implementación de una reingeniería para el proceso de producción, y capacitando a la compañía con el fin de llevarla al nuevo milenio en el sector cerámico. El tamaño de los azulejos en su primer año era de 11x11 cm y tan solo en 5 colores diferentes y una producción de 1 540 m² de azulejos de pared. En la actualidad esta producción aumentado a 550 000 m² mensual en dimensiones de 25x25 cm y 40x40 cm con un crecimiento anual del 10%, gracias a las reinversiones y aumento de capital, a su vez diversificando sus productos entregando baldosas en gran variedad de formas y colores. Todo eso debido a la implementación de tecnología de punta como hornos de rodillos y modernizando sus procesos y la creación en 1975 de la planta de pisos de alta absorción (Castillo, 2011, p.3).

2.1.1 Misión.

Fabricar revestimientos cerámicos de excelente calidad, precios asequibles, con gran diversidad de formatos y diseños, para satisfacer las necesidades estéticas y funcionales de los clientes. La eficiencia del servicio, la certificación internacional de calidad y la innovación dinámica de los productos, permiten mantener el liderazgo en el mercado nacional y ser altamente competitivo en los más exigentes mercados internacionales. La experiencia y el compromiso del personal, impulsa procedimientos de mejoramiento continuo, para generar rentabilidad y crecimiento de la organización (Castillo, 2011, pp. 5-6).

2.1.2 *Visión.*

Ser una organización líder en el mercado nacional, y altamente competitiva en los demás estrictos mercados internacionales, para lo cual se mantendrá una planta tecnificada y colaboradores comprometidos y motivados.

La visión empresarial del presidente señor Jun Eljuri, se manifiesta con la implementación de una reingeniería de procesos productivos y administrativos, con el fin de mantener a la empresa competitiva (Castillo, 2011, p.6).

2.1.3 *Ubicación de la empresa Ecuacerámica.*

En la actualidad la empresa consta de dos plantas una de baldosas de piso y otra de pared están ubicadas en la ciudad de Riobamba, junto al colegio Salesianos. En la avenida Gonzálo Dávalos y Brasil. También podemos encontrar sus oficinas regionales en Quito, Guayaquil y Cuenca.



Figura 5 – 2: Ubicación de la empresa Ecuacerámica en la ciudad de Riobamba.

Fuente: Autor

Realizado por: David Pilamunga, 2018

2.1.4 *Proceso productivo.*

El proceso de fabricación de baldosas de piso, empieza con el ingreso de materia prima en las bodegas o canchones. Se prepara la pasta en seco y posteriormente la pasta húmeda, se lleva a molinos de bolas para la mezcla total, el uso del atomizador nos ayuda para obtener una humedad determinada en la pasta. El prensado es la activada que se lleva a cabo en el fin de tener un espesor adecuado de la plancha de baldosa. La disminución de humedad a cero se produce con el secado de la misma, el esmaltado e impresión se lleva a cabo con máquinas de tecnología de punta, donde obtenemos diversidad de diseños y colores. La clasificación y empaque es la etapa donde se control la calidad de baldosas, determinado si cumple o no las

normativas vigentes de fabricación de baldosas. Finalmente se almacena en bodegas para su posterior venta. A continuación, se detallará cada proceso de fabricación de baldosas.

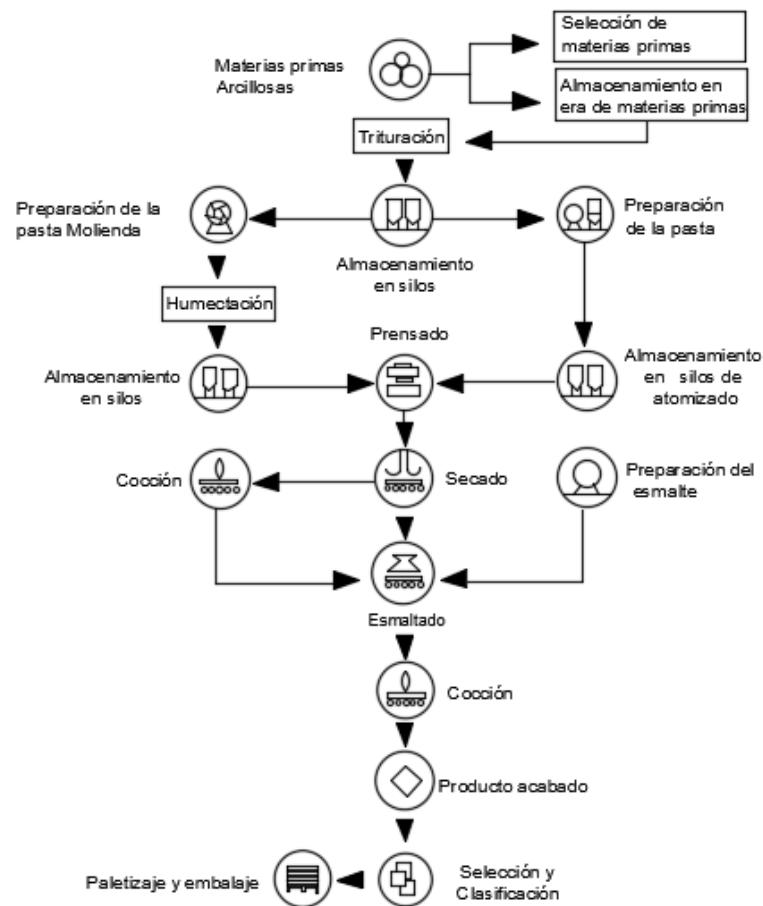


Figura 6 – 2: Descripción del proceso productivo de baldosas.

Fuente: http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173958/TFG_2018_CotandaCanellesJesus.pdf?sequence=1

Realizado por: David Pilamunga

2.1.4.1 Preparación de materias primas.

La fabricación de baldosas constituye la cerámica tradicional preparadas con materias primas naturales. La selección de las materias primas depende del producto que se desea y su disponibilidad, condicionando las características de la pasta. De manera general para la fabricación de baldosas las materias primas son: arcillas, feldspatos, arenas, carbonatos y caolines (Galán y Aparicio, 2011).

La materia prima se ubica en dosificadores que adicionan por pesada la cantidad exacta de cada elemento, estos se mezclan con agua y se lleva a molinos de gran tamaño como se observa en la figura 3-2, que contienen bolas acero de gran resistencia que trituran el material por vía húmeda, generando la barbotina (cerámica líquida). Esta etapa de producción termina una vez que se almacena la barbotina en cisternas.

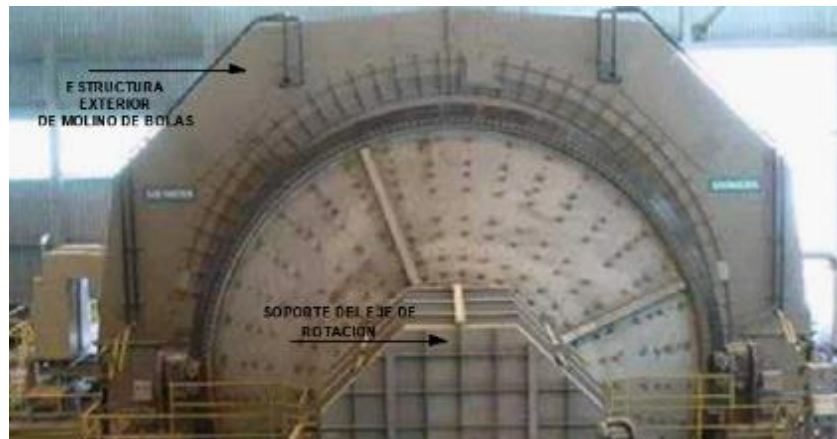


Figura 7 – 2: Molino de bolas para la tritución de materia prima.

Fuente: Barrios, 2015, p.34.

Realizado por: David Pilamunga

2.1.4.2 Atomizado.

Este proceso es el secado de la barbotina, se bombea la barbotina de las cisternas teniendo estas una humedad de (60-70) % hasta el atomizador. Mediante el contacto de aire caliente que produce el atomizador y las gotas de suspensión de la barbotina se evapora el agua obteniendo un granulado con una humedad entre $(0.05 - 0.07) \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg de solido seco}}$. El polvo granulado se descarga en bandas transportadoras para ser llevado a silos de pasta seca quedando lista para la etapa de prensado (Construmática, 2013)

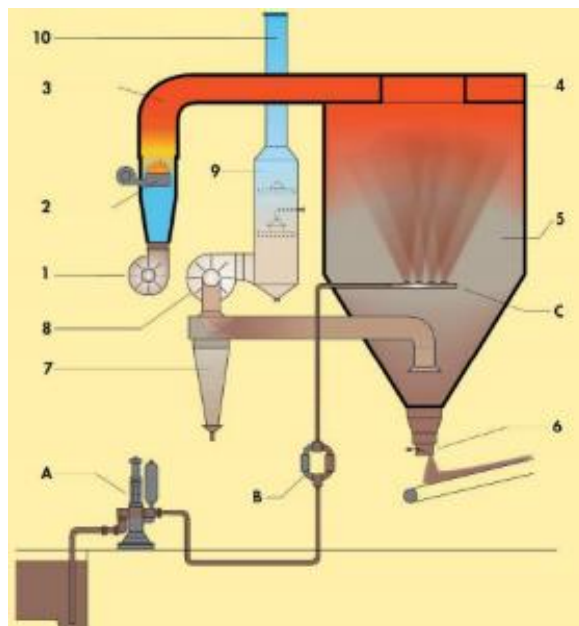


Figura 8 – 2: Esquema del proceso de secado de la cerámica líquida.

Fuente: Barreno, 2009.

Realizado por: David Pilamunga

1. Electro ventilador de presurización de aire
2. Quemador
3. Tubería de acero aislada
4. Distribuidor anular
5. Torre de secado
6. Descarga
7. Separador tipo ciclón
8. Ventilador principal
9. Abatidor
10. Chimenea
11. Bomba
12. Filtros

En la figura 4-2 se observa la distribución de la barbotina en el atomizador, este proceso nos ayuda a obtener granos esféricos y muy uniformes. Facilitando el llenado en los moldes de la prensa.

2.1.4.3 Prensado.

La conformación de la baldosa se realiza por medio del prensado en seco, ubicando en moldes la pasta con una humedad entre (5 y 7%) y realizando una presión homogénea sobre esta de 250 bar formando baldosas uniformes que ayuda a un mejor secado. Esta presión se obtiene de un sistema ole-hidráulico, precisamente de la energía que entrega el líquido de trabajo en este caso el aceite (Instituto de promoción cerámica, El proceso de fabricación y las clasificaciones técnicas)



Figura 9 – 2: Prensa hidráulica.

Fuente: Instituto de promoción cerámica, El proceso de fabricación y las clasificaciones técnicas, p.6.

Realizado por: David Pilamunga

Existen otros métodos de conformado de productos cerámicos, el método de prensado es el más económico y utilizado en geometrías regulares.

2.1.4.4 *Secado.*

Este proceso se realiza en secadores horizontales o verticales, la baldosa llega a tener en esta etapa una humedad (0.2-0.5) % para posteriormente llevarla a su cocción. El calor que se necesita para secar la baldosa prensada se transmite por convección que producen los gases.

En los secadores horizontales las baldosas se introducen en diversos planos en el interior del secador moviéndose horizontalmente en su interior sobre unos rodillos. En su interior las baldosas reciben ráfagas de aire caliente contracorrientes por quemadores situados lateralmente en los hornos. Llegando a temperaturas de 350 °C y con ciclos de secado entre 15 a 25 minutos (Construmática, 2013).

Para los secadores verticales las baldosas se ubican en planos metálicos moviéndose por el interior del secador verticalmente donde entran en contacto con las ráfagas de aire caliente. La temperatura que se obtiene en este tipo de secador es inferior a 200 °C y los ciclos suelen estar entre 35 y 50 minutos (Construmática, 2013).

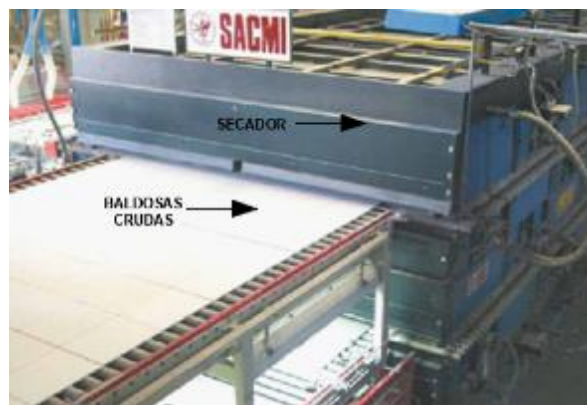


Figura 10 – 2: Secador horizontal de baldosas cerámicas.

Fuente: SACMI, 2016

Realizado por: David Pilamunga

Tener porcentajes de humedad mayores (0.2 – 0.5) % causaría fragmentación y por lo tanto la rotura de la pieza, es aquí la importancia de un secado previo al esmaltado y cocción de las piezas.

2.1.4.5 Esmaltado e impresión.

Se aplica primero el engobe (tienen la función de fijador) y luego el esmalte con un espesor entre (75-500) micras con la graficación o el color deseado. Esto sirve para darle algunas propiedades luego de realizar la cocción como: facilidad de limpieza, impermeabilidad, brillo, color, resistencia mecánica y química (Construmática, 2013). De acuerdo al tipo de temperatura de cocción y propiedades a conseguir en el producto se crea una amplia variedad de esmaltes.

2.1.4.6 Cocción.

La cocción de las baldosas se realiza a temperaturas de 1100 – 1200 °C que producen hornos horizontales con rodillos como se observa en la figura 4-2 que permiten reducir la duración de ciclos de cocción hasta menos de 40 minutos. La transición de calor se produce por convección y radiación desde las paredes del horno hacia las baldosas.

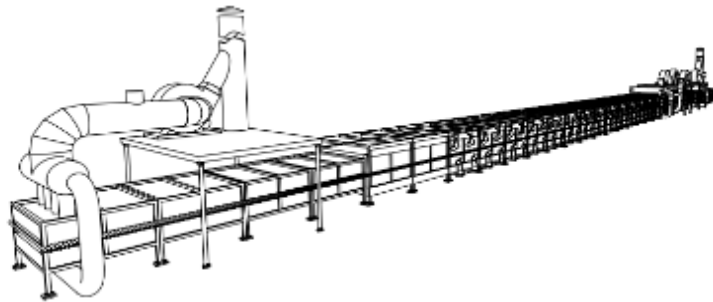


Figura 11 – 2: Horno de rodillos utilizados en la cocción de las baldosas

Fuente: Escrig, 2017, p.9.

2.1.4.7 Clasificado y empaque.

Existen 3 tipos de calidades de acuerdo al tipo de moldeo empleado para conformar las baldosas. Cerámica extrusionada, cerámica prensada y cerámica colada. El tipo de moldeo de las baldosas que se fabrican en la empresa son de tipo dos (cerámica prensada).



Figura 12 – 2: Empaquetado de baldosas de acuerdo al tipo, dimensión y color.

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

La clasificación de baldosas se realiza de acuerdo a la decoración, tamaño y color, para el control del producto en cuanto a regularidad dimensional, aspecto superficial y mecánico se realiza una revisión visual. La parte final de la elaboración de las baldosas es el empaquetamiento, se realiza en cajas de cartón donde debe estar incluida la siguiente información; tipo, dimensiones y calidad.

2.1.4.8 *Almacenamiento.*

Montacargas apilan los cartones de baldosas de acuerdo al tamaño en las bodegas de las instalaciones para su posterior distribución a todo el país.

2.2 Contaminantes del aire.

2.2.1 *Características de los contaminantes en el aire.*

El aire se ve afectado con facilidad por contaminantes en forma de gases o partículas sólidas, los contaminantes gaseosos llegan a mezclarse con rapidez debido a que el aire en su totalidad está conformado por gases como: nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, argón, entre otros (Contaminación Atmosférica, 2018). Las partículas sólidas como contaminantes también llegan a tener un efecto negativo en el aire, ya que existen tamaños de partículas que pueden llegar a permanecer suspendidas por un largo tiempo. Los contaminantes convencionales según La Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (2011) son: los gases de dióxido de nitrógeno NO₂, dióxido de azufre SO₂, monóxido de carbono CO, ozono O₃ y material particulado. La principal fuente generadora de estos gases es la quema de combustible fósil y de volcanes.

2.2.1.1 *Monóxido de carbono (CO)*

Se produce por la combustión incompleta, ejemplo en los motores de los automóviles producen este tipo de contaminante que se mezcla en la atmósfera. Efectos adversos en la salud tanto de las personas y animales pueden generar al exponerse a este contaminante, ya que se fija la hemoglobina de la sangre impidiendo el transporte del oxígeno al organismo. Puede ser mortal y tóxico en ambientes cerrados ya que su concentración aumenta (Contaminación Atmosférica, 2018).

2.2.1.2 *Dióxido de nitrógeno (NO₂)*

Los incendios forestales como las erupciones volcánicas producen este contaminante, la combustión de los motores a diésel genera en grandes cantidades óxido de nitrógeno (NO) una vez entra en contacto con la atmósfera se oxida y da como resultado NO₂. La exposición a concentraciones de este contaminante trae consecuencias en la salud, a las vías respiratorias

como la disminución de la capacidad pulmonar y la vista con irritación ocular (Fundación para la salud geoambiental – dióxido de nitrógeno, 2016)

2.2.1.3 Dióxido de azufre (SO₂)

La quema de carbón en centrales eléctricas y la combustión de productos petrolíferos es la principal fuente de emisión de SO₂, se ve asociado a problemas de asma aumentando la mortalidad en niños y personas mayores. También tiene efectos sobre la salud produciendo dificultad para respirar, colapso circulatorio entre otras (Fundación para la salud geoambiental – dióxido de azufre, 2014)

2.2.1.4 Ozono (O₃)

El ozono es parte de la atmosfera por lo que no inofensiva para la salud de las personas y animales, pero si su concentración superar a la normal se convierte en un contaminante más de la atmosfera. Esto sucede cuando los gases producto de la combustión de los motes de automóviles son elevadas y las radiaciones solares son intensas, provocando irritaciones de las fosas nasales y garganta (Contaminación Atmosférica, 2018).

2.2.1.5 Material particulado

El material particulado o contaminación particulado es la mezcla de partículas sólidas y gotas liquidas suspendidas en el aire, como polvos de vías, de agricultura, partículas generadas a partir de procesos industriales y hollín de diésel (Arciniegas, 2012). Las partículas pueden ser importantes en la contaminación ambiental estando estas en el suelo o flotando, de acuerdo al tamaño y composición de las partículas estas pueden influir de diferente manera en la salud de las personas.

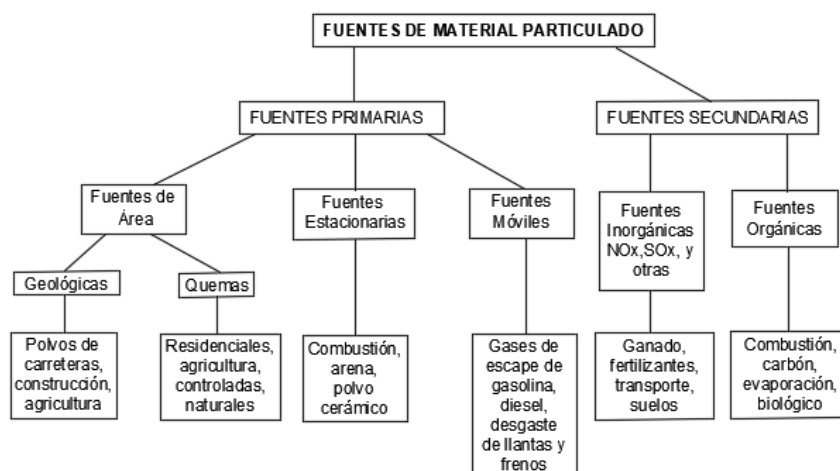


Figura 9 – 2: Clasificación de fuentes de material particulado

Fuente: (Silva, 2012).

Realizado por: David Pilamunga

La figura 1-3 representa los tipos de fuentes existentes de material particulado, indicando las respectivas acciones que pueden generar las dispersiones del contaminante particulado. De acuerdo a esta clasificación se puede determinar qué tipo de contaminante se tiene y como este influye en la atmosfera.

2.2.1.6 Designación material particulado.

La designación PM_{2.5} al material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2.5 micrones. Se designa PM₁₀ al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones. Donde el diámetro aerodinámico es el diámetro de una esfera que se sedimenta en aire quieto (Norma ecuatoriana de calidad del aire, 2011). La sedimentación de partículas ocurre con brevedad cuando estas poseen un diámetro aerodinámico mayor a 100 µm no dando la oportunidad de que estas se trasladen varios metros, partículas menores a 100 µm y mayores a 0,01 µm son aquellas que permanecen más tiempo en la atmosfera (Intendencia de Montevideo, 2018).

2.2.1.7 Niveles de calidad de aire expuestos a contaminantes particulados.

Saber cuándo tenemos una calidad de aire bueno o mala es una interrogante que se hace con la finalidad de preservar la salud y vida de las personas expuestas a los distintos tipos de contaminantes en el aire. La autoridad ambiental responsable establece tres niveles de concentración de contaminante, alerta, alarma y emergencia. Se declara cada uno de estos niveles una vez que el contaminante supere los valores de concentración.

Tabla 4 – 2: Concentración de material particulado niveles en la calidad de aire.

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Material particulado PM 10 concentración en veinticuatro horas (µm/m ³)	250	400	500
Material particulado PM 2.5 concentración en veinticuatro horas (µm/m ³)	150	250	350

Fuente: (Norma ecuatoriana de calidad del aire, 2011).

Realizado por: David Pilamunga

De acuerdo al nivel de calidad de aire se adoptan planes de medidas que preserven la salud de las personas. La autoridad ambiental responsable del control de la concentración del contaminante limitará o prohibirá operaciones en las zonas afectadas (Norma ecuatoriana de calidad del aire, 2011).

Tabla 5 – 2: Acciones a realizar de acuerdo a los niveles de calidad del aire.

Nivel	Alerta	Alarma	Emergencia
Actividades	Restringir la circulación de vehículos y la operación de fuentes fijas de combustión.	Restringir e inclusive prohibir la circulación de vehículos y operación de fuentes fijas de combustión en la zona.	Prohibir la circulación y estacionamiento de vehículos y todo el conjunto de operaciones de fuentes fijas de combustión.

Fuente: (Norma ecuatoriana de calidad del aire, 2011).

Realizado por: David Pilamunga

2.2.1.8 Tiempo de exposición a contaminantes particulados.

La OMS (Organización mundial de la salud) detalla las directrices sobre la Calidad de aire para contaminantes solidos (partículas) que son aplicables en todo el mundo, la tabla 3-2 se especifica los valores fijados en las directrices por la OMS, es importante dar a conocer que superar los tiempos recomendados de exposición a estos contaminantes puede causar efectos varios sobre la salud de las personas. Las partículas más perjudiciales para la salud son las menores o iguales a 2,5 micrómetros, estas pueden ingresar al sistema sanguíneo atravesando la barrera pulmonar causando enfermedades respiratorias y cáncer al pulmón (Organización mundial de la salud, 2018).

Tabla 6 – 2: Límites de la directriz de contaminantes tipo partícula.

Tamaño de partículas	Tiempo de exposición	
	24 horas	anual
$PM_{2,5}$	$25 \mu\text{m}/\text{m}^3$	$10 \mu\text{m}/\text{m}^3$
PM_{10}	$50 \mu\text{m}/\text{m}^3$	$20 \mu\text{m}/\text{m}^3$

Fuente: (Organización mundial de la salud, 2018).

Realizado por: David Pilamunga

Una calidad de aire mala en sitios de trabajo, puede llegar a tenerse un bajo en el rendimiento de los trabajadores. Síntomas como sobre cansancio, perdida de concentración cansancio entre otras, es aquí la importancia de tener el ambiente de trabajo controlado rigiéndose a las normas vigentes de cada país respecto al contenido y tiempo de exposición de contaminantes en el aire (PCE Instrumentos, 2014).

2.3 Sistemas de ventilación industrial.

En la industria se trabaja con varios tipos de sustancias que pueden ser toxicas, llevando a un ambiente de trabajo inseguro excediéndose los niveles de seguridad de partículas, gases,

vapores o nieblas. Por ello la importancia de la ventilación que dará solución a esta problemática para proteger la salud del trabajador, la ventilación también puede dar solución al control de olores y humedad (Goberna, 1992).

En la industria se emplea dos tipos de sistemas de ventilación. Los sistemas de impulsión mezclan aire limpio con aire contraminando con la finalidad de mantener los niveles de toxicidad bajos, esto se lleva a cabo por la impulsión de aire externo a un local de trabajo. Los sistemas de extracción se utilizan para eliminación de los contaminantes sean estos humos, polvos y vapores (Goberna, 1992).

Dependiendo del lugar o sitio donde estos contaminantes se generan se tiene dos tipos de ventilación: para locales ventilación general y para procesos la ventilación localizada.

2.3.1 Ventilación general

La solución de ventilación general se aplica a ambientes contaminados por sustancias de baja toxicidad y en concentraciones suficientemente pequeñas. La ventilación se define como el cambio total del aire contaminado en el interior del local por otro de procedencia exterior, con la finalidad de minimizar la concentración de contaminantes en el aire evitando envenenamiento de las personas y eliminado el calor de los procesos productivos (Chimbo y Ortiz, 2012).



Figura 10 -2: Ventilación General.

Fuente: (Chimbo y Ortiz, 2012, p.21).

Debido a volúmenes grandes de aire a vincular, aplicar los principios de ventilación general puede ocasionar problemas como instalaciones poco económicas y efectivas. Por lo que la ventilación general se debe tomar como un complemento de la ventilación localizada (Soler y Palau, 2016). Este tipo de ventilación en los locales pueden trabajar bajo depresión donde la entrada de aire es de forma natural y la extracción mediante un equipo mecánico (ventilador) o sobrepresión cuando la entrada de aire se realiza mediante un ventilador y la extracción es de forma natural.

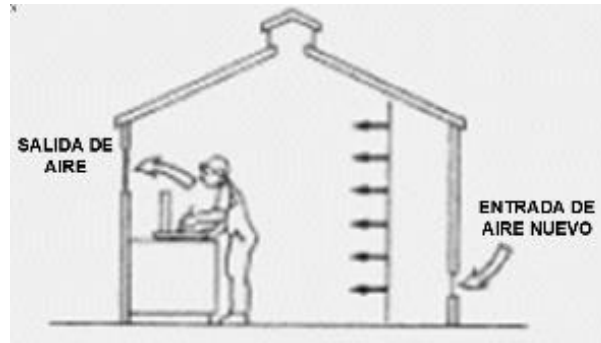


Figura 11-2: Distribución del aire en el local.

Fuente: (Ministerio de Trabajo y Asuntos sociales España e Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2013)

Una consideración importante para la aplicación de ventilación general es obtener que el aire limpio que ingresa en el local no lleve el contaminante hacia el trabajador, es importante que el aire que ingresa llegue hacia las espaldas del trabajador como muestra la figura 3-3.

2.3.2 Ventilación localizada

El uso de la ventilación local para control de la dispersión del contaminante en la atmosfera es de mucha importancia, es el más utilizado en la industria debido a la utilización de menores caudales de aire siendo más económico y debido a su gran funcionalidad. La finalidad del uso de este tipo de ventilación es la eliminación de la dispersión del contaminante, mediante la captación de este lo más cercano de su fuente generadora. Por lo que la ventilación localizada en locales, naves industriales, procesos debe ser la prioridad y más cuando el tipo de contaminante sea toxico en grandes cantidades. Este tipo de ventilación incluye elementos para facilitar la captación localizada del contaminante como los mostrados en la figura 4-3.

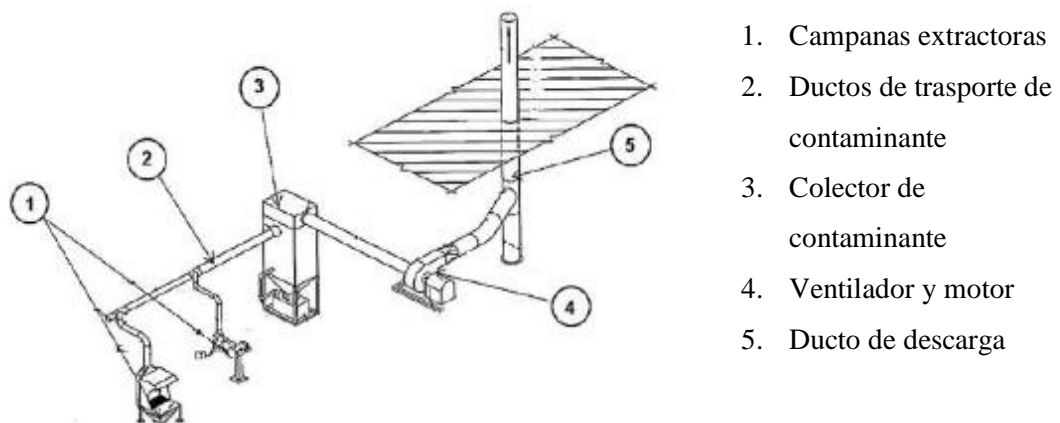


Figura 12 – 2: Componente que se utilizan en la ventilación industrial localizada.

Fuente: (Chimbo y Ortiz, 2012, p.23)

Esta ventilación se basa en crear una corriente de aire con velocidad específica en el foco de la emisión para la captura del contaminante.

2.4 Componentes del sistema de extracción localizada.

2.4.1 Sistema de extracción.

El objetivo principal del sistema de extracción es evitar la dispersión en la fuente generadora del contaminante. Encerrando lo mayormente posible, garantizando el uso de un menor caudal comparado con la ventilación industrial.

El aire debe tener una velocidad para arrastrar eficazmente los vapores, humos o polvos en el punto más distante de la campana, esta velocidad se denomina velocidad de captación que garantiza la efectividad del dispositivo. Para la efectividad del dispositivo se garantiza con una velocidad mínima de arrastre (Soler y Palau, 2016).

Existen tres tipos de sistemas de captación, dependiendo del contaminante a extraer, posición de la fuente generadora, las corrientes de aires presentes y los procesos.

2.4.1.1 Encerramientos

Los encerramientos son más utilizados cuando se debe controlar emisiones de hornos de fundición con arco eléctrico y operaciones de estampado la figura 13-2 muestra un encerramiento para la aplicación de pintura de automóviles (Echeverri, 2011, p.35).

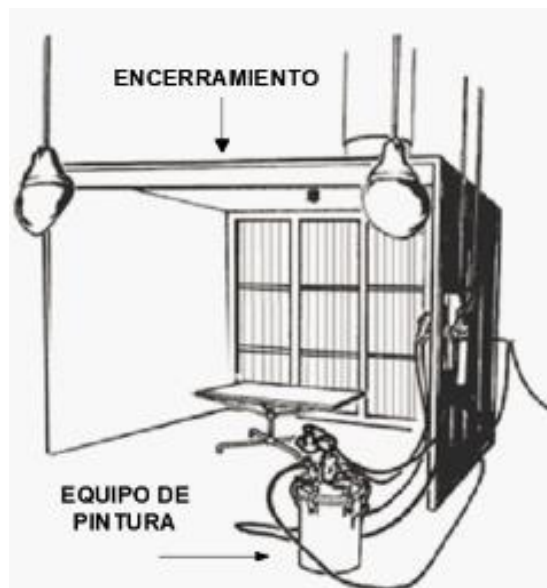


Figura 13 – 2: Encerramiento para la aplicación de pintura de automóviles.

Fuente: (Echeverri, 2011, p.36).

Realizado por: David Pilamunga

Este tipo de captación necesita menores volúmenes de aire para capturar el contaminante, ya que encierra en su totalidad la fuente generadora de contaminantes. Teniendo una mayor eficiencia y economía, pero no todos los procesos necesitan un encerramiento total debido a las actividades que se realizan en las operaciones estos necesitan aperturas para remoción de material. Por ello se diseñan cerramientos con pequeñas aberturas típicamente un 5% o menos comparado con el área total de las paredes del encerramiento.

2.4.1.2 Cabinas

Las cabinas deben permitir el acceso a operadores u otros equipos, por lo tanto, el diseño de las captaciones se parece a los encerramientos con la diferencia de no tener una pared para cumplir la función antes mencionada. Son utilizadas en aplicaciones, tales como laboratorios, rociado de pintura y esmerilado portátil, pulido y operaciones de brillo la figura 14-2 muestra una cabina para laboratorio (Echeverri, 2011, p.36).

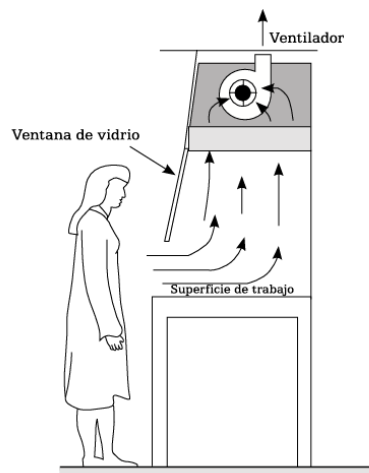


Figura 14-2: Cabina para laboratorio.

Fuente: (Echeverri, 2011, p.37).

Son muy eficientes gracias a las paredes de la cabina que reducen el caudal y evitan el contacto del contaminante con el operario. Generalmente las velocidades de captación son 0.3 a 1.0 m/s.

2.4.1.3 Campanas exteriores

Son utilizadas cuando es imposible encerrar total mente la fuente de contaminación o la utilización de cabinas. Se ubican en el exterior de la fuente, la instalación de las campanas se realiza garantizando velocidad de captura adecuadas para extraer el materia contaminado lo más eficientemente posible desde los puntos más desfavorables hasta ellas. La eficiencia depende de la distancia que existe entre el foco de contaminación y la boca de la campana, disminuyendo de esta manera el caudal de captación.

Por ello se debe instalar lo más cerca posible a la fuente de contaminación la figura 15-2 muestra la campana para un tanque abierto.



Figura 15-2: Campana para tanque de superficie abierta.

Fuente:(Echeverri, 2011, p 37).

Realizado por: David Pilamunga

Deflectores

Existen casos en los que la campana puede absorber aire contaminado no solo de la fuente de generación, también de los lugares posteriores de esta. Generando un incremento de caudal he aquí la importancia de una modificación en las campanas. Se trata de pestañas deflectoras como muestra la figura 16-2 que ayuda a la reducción del caudal de succión hasta un 25%. El ancho de ideal de estas pestañas aproximadamente es 15cm.

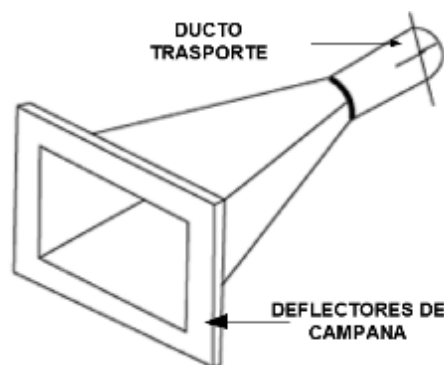


Figura 16-2: Campana de extracción con deflectores.

Fuente: (Echeverri, 2011, p 40).

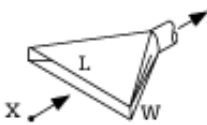
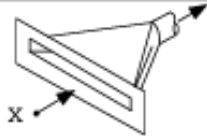


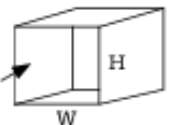
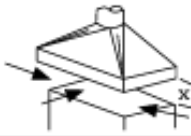
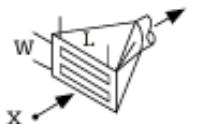
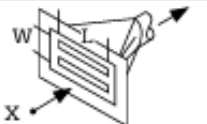
Realizado por: David Pilamunga

La utilización de campanas con pestaña aumenta la eficiencia del equipo captura, excluyendo el aire posterior de la pestaña y minimizando el caudal de aire. La selección y ubicación de este equipo es de mucha importante, ya que una incorrecta selección podrá ocasionar el aumento de caudal de extracción, consecuentemente el costo de funcionamiento e instalación.

Tipos de campanas

De acuerdo a las características físicas, posición de la fuente, temperatura y composición del contaminante las campanas de extracción pueden obtener diferentes formas y caudales tales como se observa en la tabla 4-2.

Tabla 4-2: Ecuaciones de diseño para diferentes tipos de campanas.

Tipo de campana	Tipo de abertura	Dimensiones	Caudal de aire
	Ranura	$\frac{W}{L} \leq 0.2$	$Q = 3.75LV_c x$
	Ranura con pestaña	$\frac{W}{L} \leq 0.2$	$Q = 2.78LV_c x$
	Campana	$\frac{W}{L} \geq 0.2$ o circular	$Q = V_c (10x^2 + WL)$
	Campana con pestaña	$\frac{W}{L} \geq 0.2$ o circular	$Q = 0.76V_c (10x^2 + WL)$
	Cabina		$Q = V_c WH$
	Campana suspendida		$Q = 1.4V_c Px$
	Campana con ranuras	$\frac{W}{L} \geq 0.2$	$Q = V_c (10x^2 + WL)$
	Campana con ranuras y pestaña	$\frac{W}{L} \geq 0.2$	$Q = 0.76V_c (10x^2 + WL)$

Nomenclatura:

V_c = Velocidad de captación, m/s

P = Perímetro, m

W = Ancho, m

L = Largo, m

x = Distancia entre la fuente contaminante y la campana, m

Q = Caudal de aire, m³/s

Fuente: (Echeverri, 2011, p 41).

Para el diseño de campanas se debe tener los siguientes criterios:

- Ubicar lo más cercano posible la campana de la fuente de generación, así la eficiencia de la campana aumentara. Ejemplo para capturar el contaminante a una distancia x el caudal requerido es 1500 m³/h, si la distancia se duplica es decir $2x$ el caudal requerido de captura será 600m³/h. Debido a esto la importancia de ubicar lo más cercano la campana de la fuente (Soler y Palau, 2016).
- Encerrar la operación como sea posible con la ayuda de pestañas en las campanas y pantallas deflectoras. Esto ayudara a extraer el contaminante específicamente de la fuente y no al aire de sus alrededores.
- La instalación del equipo de extracción debe ser tal que el trayecto del contaminante no exponga las vías respiratorias del operario.
- Las líneas del flujo del contaminante se deben usar para una mayor eficiencia de captura, es así que la campana se instalara con la finalidad de utilizar las fuerzas de inercia que ayuda al aumento de velocidad de captura.
- Siempre que sea posible las campanas deben tener deflectores para reducir el caudal en un 25% aproximadamente (Echeverri, 2011, p.40).

Velocidad de captación: Se denomina velocidad de captación a la velocidad del aire en un punto frente a la boca de la campana, que es necesaria para capturar el contaminante en ese punto dirigiéndolo hacia la campana (Goberna, 1992, capítulo 3)

Se entiende que la campana instalada es capaz de absorber el contaminante mediante un caudal de aire, sin interferir en el proceso. Esto se garantiza mediante la velocidad de captación que nos ayuda a la succión precisa de la cantidad de contaminante en el ambiente. Es importante determinar la velocidad mínima para cada situación.

El valor de la velocidad mínima de captación es la primera especificación que el diseñador se basa para el cálculo del caudal necesario para absorber el contaminante. Existen distintos valores de velocidad de captación que dependen del tipo de contaminante y las características de la fuente generadora el anexo B muestra los valores recomendamos y distintas aplicaciones de generación de contaminantes.

2.4.2 Sistema de ductos.

El sistema de ductos es el transporte por donde se moverá el aire con el contaminante pasando por el separador y finalmente expulsado o colectado. La absorción y transporte del aire contaminando se genera con la ayuda de la energía mecánica en este caso un ventilador. La utilización de un ventilador que debe vencer la resistencia que genera la fricción entre el fluido

y las paredes de los ductos, el cambio de dirección del fluido también es un gasto de energía que el ventilador entrega.

2.4.2.1 Tipos de ductos

Debido a la construcción los sistemas de ductos pueden ser rígidos y flexibles. Los sistemas de conductos rígidos tienen forma fija usualmente son circulares. Contrariamente los conductos flexibles pueden doblarse debido al espacio limitado donde serán instalados, estos conductos flexibles se fabrican de formas circulares, cuadradas y rectangulares (Echeverri, 2011, p.78). El tipo de ducto circular es el que genera menos oposición a fluir por lo que las ecuaciones relacionadas al cálculo del diámetro y pérdidas en el sistema de ductos están generalizadas para este tipo de sección.

2.4.2.2 Material para sistema de ductos

El material de fabricación de ductos son metal y plástico, el material es seleccionado de acuerdo a las características de corriente de aire, condiciones estructurales, costos de compra e instalaciones, estética y otros factores. Los plásticos más comunes como PVC (cloruro de polivinilo), FRP (plástico reforzado con fibra de vidrio), PP (polipropileno) y LPE (polietileno lineal) son resistentes a sustancias corrosivas. No toleran temperaturas mayores 65 °C caso contrario los metales que soportan temperaturas hasta 540 °C (Echeverri, 2011, pp. 77-78)

2.4.2.3 Componentes del sistema de ductos

Anteriormente se mencionó que el sistema consta de ductos rígidos o flexibles, pero existen otros accesorios que ayudan a mantener eficiente este sistema. Los accesorios más comunes que se encuentran son:

- Codos: Sirven para el cambio de dirección de la corriente de aire conducida normalmente se fabrican de 30°, 45°, 60° o 90°.

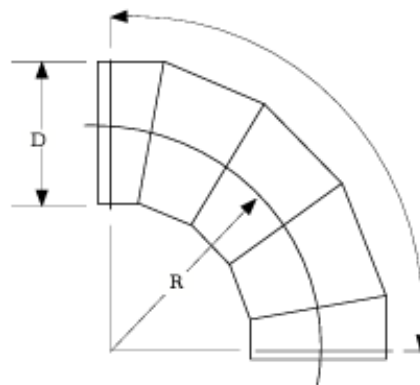


Figura 17-2: Codo 90°.

Fuente: (Echeverri, 2011, p. 89).

- Entradas: unen dos o más conductos, estas conexiones recomendablemente se hacen a 30°, 45° y 60°.

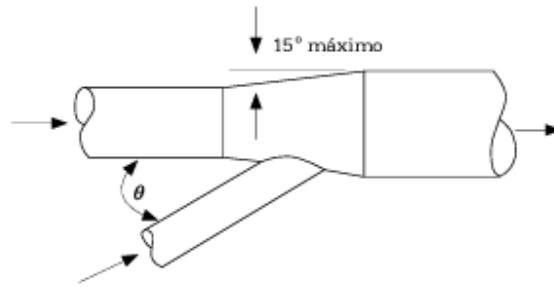


Figura 18-2: Entradas.

Fuente: (Echeverri, 2011, p. 89).

- Contracciones o expansiones: Si requieren cuando se desea unir dos ductos de diferente diámetro y para la eliminación de esfuerzo térmicos. El ángulo de progresión de contracción o expansión debe ser máximo 15°.

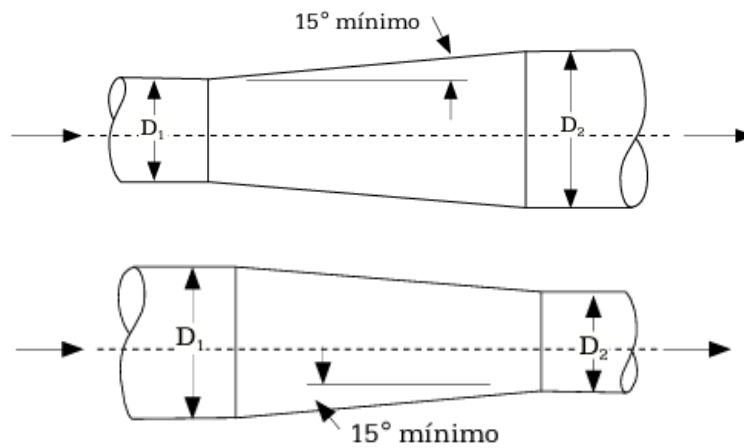


Figura 19-2: Expansión y contracción.

Fuente: (Echeverri, 2011, p. 90).

- Compuertas: El más utilizado es el tipo mariposa, se instala con el propósito de controlar el caudal que fluye a través del sistema.

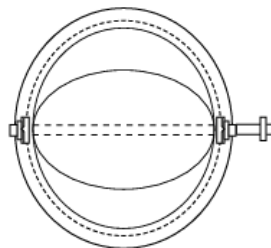


Figura 20-2: Compuerta de mariposa vista frontal.

Fuente: (Echeverri, 2011, p. 90).

2.4.2.4 *Pérdidas de energía*

Existen pérdidas en el sistema de ductos por fricción entre las paredes de la tubería y el fluido e inclusión de accesorios. Las pérdidas en el sistema de ductos deben ser las menores posibles ya que de estas depende la capacidad del ventilador. Estas pérdidas se clasifican en tres tipos:

- Pérdidas por fricción en tramos rectos de conductos
- Pérdidas localizadas por accesorios o por singularidades
- Pérdidas por entradas

Estas pérdidas se expresan en milímetros de columna de agua (mmca). La suma de estas pérdidas constituye la pérdida de presión estática total del tramo

Existen dos métodos para el cálculo total de las pérdidas del sistema, método de la presión dinámica y método de la longitud equivalente. El método de la presión dinámica se basa en el hecho que todas las pérdidas de carga, son función de la presión dinámica, calculadas multiplicando esta presión por un factor. El método de la longitud equivalente es similar al anterior diferenciándose por el cálculo de pérdidas de accesorios, se obtiene una longitud equivalente en función del diámetro de cada accesorio. Los valores de longitud equivalente se encuentran tabulados (Goberna, 1992).

Para la aplicación de estos métodos de cálculo de pérdidas del sistema es importante conocer uno de la velocidad de transporte. El valor está recomendado de acuerdo al tipo de contaminante con la finalidad de no estancarse y taponar los ductos. Es importante mencionar que en los ductos se tendrán velocidades no constantes oscilando en su valor medio, debido a que el flujo es turbulento (Soler y Palau, 2016).

Los valores de velocidad mínima que se necesita para el transporte del aire con el contaminante se muestra en el anexo B. La selección adecuada de esta velocidad nos ayudará a obtener un diseño de conductos económico.

2.4.2.5 *Balance de conductos en un sistema de ventilación*

El diseño de un sistema de absorción de polvo debe ser diseñado con la finalidad que el sistema instalado funcione de manera esperada. Para que esto ocurra se debe garantizar un equilibrio en el sistema de ductos.

Para los tramos que comienzan en distintas campanas y terminan en una misma entrada, la caída de presión estática siempre deberá ser la misma. Esto consiste en mantener la presión estática en cada entrada (Echeverri, 2012, p.114).

Existen dos métodos utilizados para el equilibrio del sistema de conductos: Método de equilibrio por compuertas y método de equilibrio por diseño.

- Método de equilibrio por compuertas: Consiste en calcular el diámetro de cada tramo de conducto con el caudal y la velocidad de transporte. En cada unión o concurrencia de dos o más tramos se debe calcular el caudal total sumando los caudales que concurren en este nodo y calcular el diámetro troncal con el caudal y velocidad. Este proceso se realiza hasta llegar al punto de descarga del sistema (Diseño de conductos de sistemas de ventilación localizada por extracción, 2011, p. 10).

Se diseña y se instala el sistema con la implementación de compuertas de regulación a la salida de cada campana. Esta tiene la función de ajustar el caudal de las campanas al caudal de diseño para que el sistema trabaje como estaba previsto. Esto genera obstrucción y pérdidas en el sistema adicionales por lo que el ventilador consumirá más energía. Este método sufre acumulación cuando se trabaja con polvo (Diseño de conductos de sistemas de ventilación localizada por extracción, 2011, p. 11).

- Método de equilibrio por diseño: Consiste en lograr la distribución de los caudales, en los distintos tramos siendo iguales o mayores a los caudales de diseño. A partir de las longitudes de tramos rectos y los accesorios de estos conductos, se calculan las pérdidas de carga de los mismos y se los comparan entre sí. Si no son iguales se modifican las variables de diseño hasta lograr el equilibrio. Por lo general se cambian los diámetros de ductos (Diseño de conductos de sistemas de ventilación localizada por extracción, 2011, p. 10).

La utilización de este método no presenta abrasiones inusuales o acumulación de polvo en los conductos. Poca flexibilidad para cambios futuros o ampliaciones. El diseño de los tramos y ductos deben realizarse a detalle para que la ejecución de la instalación se ajuste exactamente al proyecto en funcionamiento (Diseño de conductos de sistemas de ventilación localizada por extracción, 2011, p. 11). En general en instalaciones para industrias el método utilizado para el equilibrio y diseño de sistemas de conductos es el método de equilibrio por diseño.

2.4.3 Depuradores de aire

Son equipos que separan los contaminantes del flujo de aire, la selección de del equipo depurador se basa en varios factores como la eficiencia, las características del contaminante a depurar, las condiciones de la corriente de aire, el lugar de instalación, entre otros.

Para contaminantes particulados los depuradores de aire se dividen en dos grupos: Filtros de aire y captadores de polvo. Los filtros de aire se utilizan en instalaciones de ventilación, acondicionamiento de aire y sistemas de calefacción donde la concentración de polvo es bajas del orden de magnitud de las existentes en la atmosfera. Estas concentraciones no superan los 2 mg/m³ generalmente son inferiores a 0.2 mg/m³. Los captadores de polvo son utilizados para concentraciones mayores, valores menores de 200 mg/m³ hasta 4000 mg/m³ incluso mayores. Estos captadores de polvo se usan en instalaciones industriales donde la extracción de partículas de polvo se realiza por medio de sistemas extracción localizada (Goberna, 1992, Capítulo 4, p. 2)

El depurar es un equipo de mucha importancia en un sistema de extracción localizada, debido a que este nos ayudara a filtrar las partículas de polvo y garantizar un aire limpio que cumpla con las normativas vigentes de calidad de aire ambiente. La selección del tipo de depurar idóneo para la aplicación de conveniencia se debe realizar de manera minuciosa. A continuación, menciona los factores a considerar en la selección de un equipo.

- Eficiencia necesaria: Un equipo de alta eficiencia tiene un costo alto, pero no ayudara a tener un aire final de mejor calidad, se puede combinar el valor de la eficiencia con su costo dependiendo de la calidad de aire necesario.
- Características de las corrientes aire: La temperatura de las corrientes de aire pueden influir en la selección de los materiales de los filtros, elementos corrosivos pueden causar daños a metales de los separadores.
- Consideraciones energéticas: El estudio del consumo energético debe ser cuidadoso para cada tipo de captador de polvo. Ya que tener un equipo que consuma excesiva energía y no cumpla la función necesaria sería una pérdida de energía.
- Recogida de polvo: El aire con el contaminante entra en el depurador y este lo separa quedándose con el contaminante, existe varias alternativas para la extracción de los materiales que se quedan en el interior del equipo. Los que trabajan en seco pueden descargar a través de compuertas, válvulas rotativas transportando por medio de cintas o contenedores. Trabajos húmedos pueden ser expulsados fácilmente debido a la humedad y viscosidad de los materiales (Goberna, 1992, capítulo 4, p.3).

Para concentraciones grandes de polvo son útiles los captadores como se mencionó anteriormente, donde los más utilizados en la industria son: Precipitadores electroestáticos, filtros de tela, depuradores húmedos y ciclón.

2.4.3.1 Precipitadores electrostáticos

Este tipo de colectores de polvo son de alta eficiencia llegando cerca de 99%, el funcionamiento se realiza mediante el proceso de ionización atrapando las partículas de una corriente de gas contaminado. El precipitador electrostático o PES carga a las partículas para atraerlas mediante fuerzas electrostáticas a las placas colectoras con cargas opuestas, se usan golpes o agua sobre las placas recolectoras para retirar las partículas para luego ser recolectadas en una tolva.

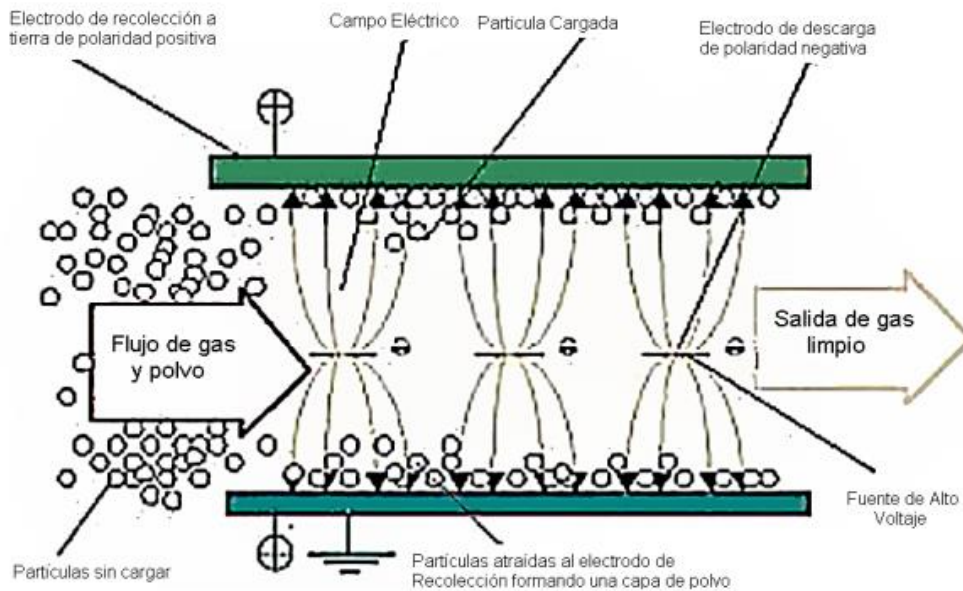


Figura 21-2: Principio de funcionamiento del precipitador electrostático.

Fuente: (Rodríguez et al., 2017: p.88)

Existen varios tipos de precipitadores electrostáticos utilizados en la industria:

Precipitador placa – alambre: Exclusivamente para industrias donde se genere calor como hornos de cemento, calderas, hornos de chimenea, etc. Son útiles para manejar grandes cantidades de gas, a su vez el método de remoción de partículas de la placa y alambre es por medio de golpeteos.

Precipitador tubular o tubo – alambre: Tienen aplicación en plantas de adición de ácido sulfúrico, limpieza de gas subproducto de los hornos de coque (remoción de alquitrán) y plantas de sinterización de hierro y acero. Los tubos pueden tener forma circular, cuadrado o hexagonal, fluyendo el gas hacia arriba o hacia abajo (Rodríguez et al., 2017: p.88).

Precipitador de placas – placas: Se remplazan los alambres por placas, como se muestra en la figura 13-3 ayudando en el aumento del campo eléctrico y el área de recolección de partículas, este tipo de precipitador es muy utilizado en la industria.

Precipitador húmedo (PEH): Este tipo de precipitador puede ser como cualquiera de los anteriores mencionados, con el cambio de las placas secas por placas húmedas. Los PEH son utilizados cuando el material a recolectar este húmedo, pegajoso, inflamable, sea explosivo o tenga una resistividad alta. La ventaja del precipitador húmedo es que no tiene problemas con el reencauzamiento por golpeteo, pero si un problema con el lavado debido al lodo que se genera.

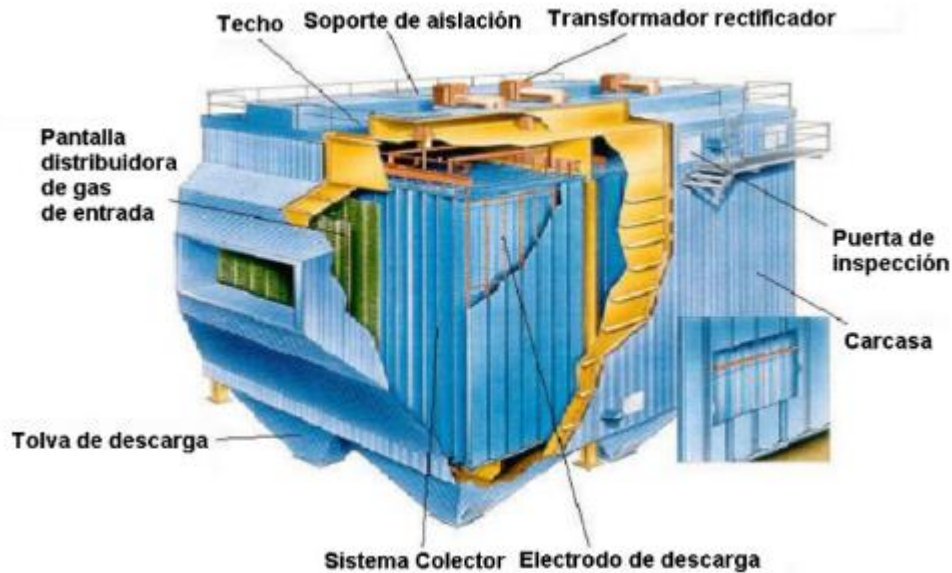


Figura 22-2: Precipitador electrostático placas – placas.

Fuente: (Rodríguez et al., 2017: p.91).

La pérdida de carga que este tipo de captador es generalmente menor a 25 mmca, por lo tanto, los requerimientos energéticos son significativamente menores que los de cualquier otro tipo de captador (Goberna, 1992, capítulo 4, p.9).

Beneficios

- Puede trabajar a temperaturas altas hasta 700°C
- Son de alta eficiencia llegando a valores del 99%
- El gasto energético es relativamente baja
- Recolección y colocación final en seco
- Baja caída de presión
- Diseño para trabajo continuo con requerimientos mínimos de mantenimiento

Desventajas

- Costo alto de adquisición del equipo
- Recolección de partículas combustibles produce riesgos de explosión
- Medidas de seguridad para operarios para protección de alto voltaje

2.4.3.2 Filtros de tela

Debido a la forma tubular del filtrante este se denomina filtro de mangas. Se aplican al control de partículas con diámetros aerodinámicos pequeños como $0,5 \mu\text{m}$ y mayores $2,5 \mu\text{m}$. En un filtro de tela el gas pasa de manera transversal al filtro, reteniendo las partículas y dejando pasar el flujo de aire. Este tipo de captadores alcanza eficiencias del 99,9% cuando el diseño y el mantenimiento es correcto. La categorización de filtros de tela se lleva a cabo por el tipo de limpieza empleado.

Limpieza por agitación: de manera general para la limpieza de la tela se debe suministrar energía suficiente para que esta pueda desprenderse de las partículas de polvo. La limpieza por agitación se lleva a cabo por el suministro de energía que entrega un motor, haciendo que la bolsa se mueva hacia fuera de su línea central hasta desprenderse de las partículas de polvo y desciendan hacia la tolva. Para casa de bolsas de un solo compartimento como se muestra en la figura 23-2, se opera de manera intermitente mediante el uso de una palanca conectada al mecanismo de agitación (EPA, 2015, p. 5).

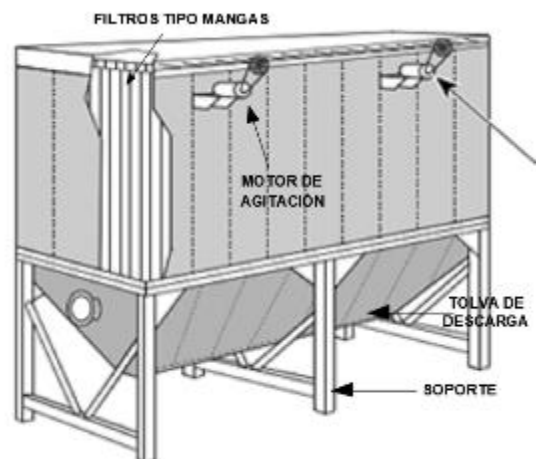


Figura: 23-2: Casa de bolsas con agitación por accionamiento manual.

Fuente: (EPA, 2015, p. 6)

Para casa de bolsas con compartimentos múltiples son operadas de manera continua mediante el uso de un sensor que ayude a la activación automática del mecanismo de agitación. Los compartimentos operan en secuencia limpiando un compartimento a la vez (EPA, 2015, p. 5).

Limpieza con aire a la inversa: En este tipo de limpieza se utiliza un ventilador que impulsa una corriente de aire en la zona superior del filtro (zona limpia) en sentido contrario al de filtración consiguiendo soltar el polvo depositado en las mangas. Las bolsas son limpiadas una a la vez quedando fuera de línea, por lo que se debe trabajar con dos líneas en paralelo una filtrando y otra limpiando (Sáenz, 2007, p. 32).

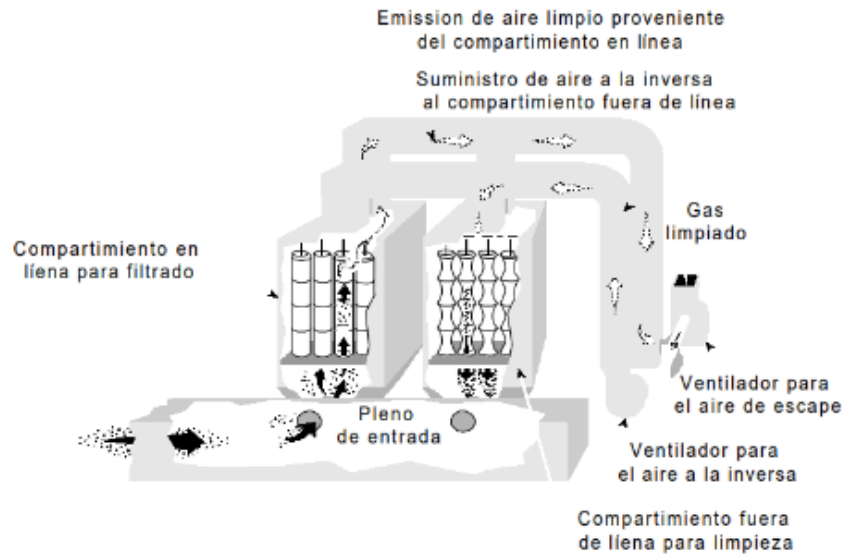


Figura 24-2: Casa de bolsa con limpieza aire a la inversa.

Fuente: (EPA, 2015, p. 7).

Limpieza por chorro pulsante o Pulse-Jet: Tiene una gran ventaja comparada con la de agitación o aire a la inversa en la reducción del tamaño de la casa de bolsa usando menos tela y disminución en el costo del capital. Esta limpieza inyecta aire en la zona limpia del filtro en la boca superior de las mangas oponiéndose al flujo de gas. El sistema de aire comprimido es accionado por una válvula que infla la manga y desprende la capa de polvo de esta, depositándose en el fondo del filtro. Esta limpieza no detiene la filtración siendo continuo el funcionamiento (Sáenz, 2007, p. 32).

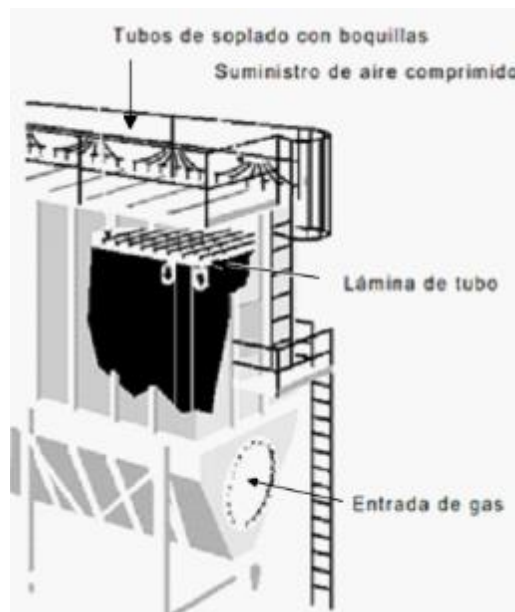


Figura 25-2: Casa de bolsa de limpieza de chorro a pulso.

Fuente: (EPA, 2015, p. 8).

En la actualidad se ha optado por el aumento del área de filtro, sustituyendo las bolsas por medios de filtración finamente plisados y sostenidos por medio de estructuras de alambre (cartuchos). La limpieza de estos cartuchos se lo realiza por la activación de válvulas individuales para cada cartucho. Este cartucho contiene un núcleo interior de soportes rodeado por medio de filtración plisado y la malla exterior de soporte como muestra la figura 26-2. Un extremo del cartucho está abierto, lo cual permite que el gas pase atreves del filtro desde el exterior hacia un pleno de aire limpio. Estos filtros de cartuchos están limitados por la temperatura, comúnmente las temperaturas son 200 °F a 350°F (EPA, 2015, p. 10).

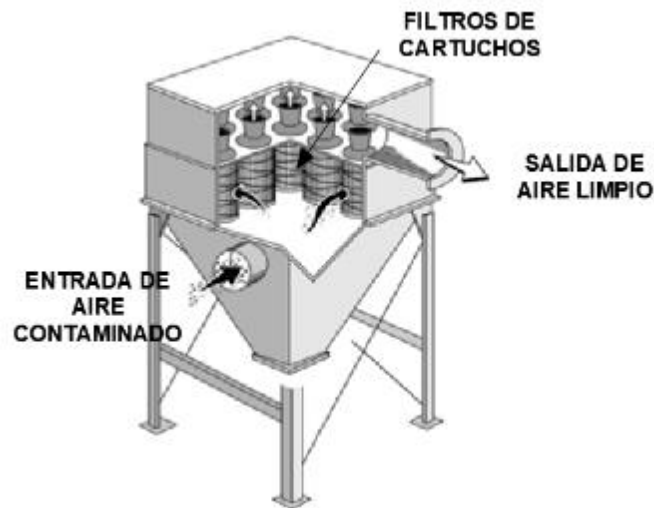


Figura 26-2: Casa de bolsa con filtro de cartuchos montados verticalmente.

Fuente: (EPA, 2015, p. 11).

Este tipo de filtro puede captar partículas menores de 2.5 μm de diámetro aerodinámico con una eficiencia alta de 99.99% . Las dimensiones del cartucho pueden tener 36 pies cuadrados de tela no tejida, 153 pies cuadrados de tela unida por hilado.

Beneficios

- Alta eficiencia de recolección para partículas de tamaño gruesas o finas.
- El aire es bastante limpio, llevando a una recirculación del aire dentro del local.
- Pueden trabajar con grandes cantidades de partículas.

Desventajas

- Para temperaturas de operación superiores a 290 °C se requiere el uso de telas metálicas.
- Concentraciones de algunas partículas en el colector, aproximadamente 50g/m³, pueden representar un peligro de fuego si se produce una chispa.
- No son adecuados para ambientes húmedos.

2.4.3.3 Depuradores húmedos

Depuradores húmedos o lavadores de gases, generan pérdidas de carga que van 35 hasta 2500 mmca. Pueden tratar gases a altas temperaturas o saturados de humedad, son muy útiles cuando se trata de contaminantes con riesgos de explosión o incendio. Debido al agua se puede producir fenómenos de corrosión en el interior del equipo. El principio de funcionamiento de estos depuradores consiste en añadir vapor de agua a una corriente de aire mediante evaporación, la capacidad de humidificación varía de acuerdo a los diseños (Goberna, 1992, capítulo 4, p.18).

Cámaras o torres de lavado: El mecanismo de funcionamiento es el impacto de las partículas de polvo en las gotas de agua separándose de la corriente de aire por la fuerza centrífuga. La pérdida en este tipo de depurador es 12 a 35 mmca con una presión de agua entre 0.6 a 25 kg/cm² (Goberna, 1992, capítulo 4, p.19).

Torres de relleno: Se utilizan para la eliminación de gases, vapores o nieblas. El flujo de agua y de gas se hacen circular de forma paralela, pero en contra corriente. No se usan con el fin de eliminar partículas sólidas debido que el mantenimiento sería impracticable por el taponamiento del relleno por el polvo. Las pérdidas en este tipo de depurador es 35 a 90 mmca (Goberna, 1992, capítulo 4, p.19).

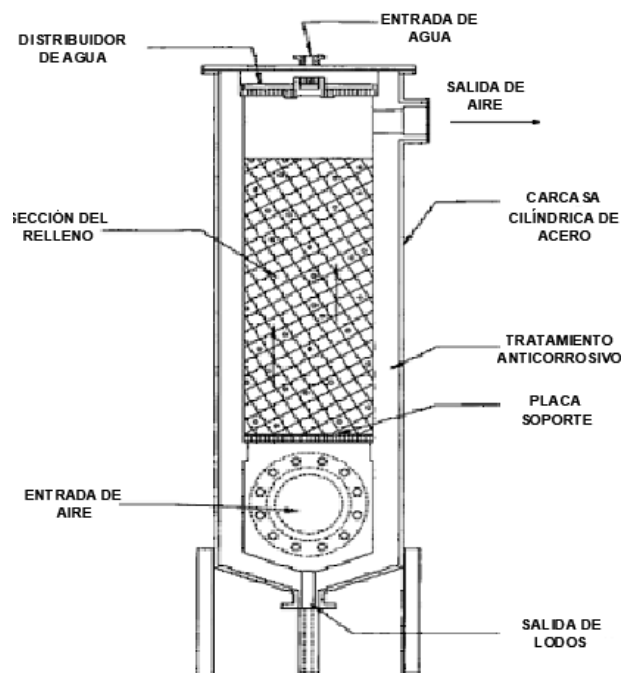


Figura 27-2: Torre de relleno.

Fuente: (Goberna, 1992, capítulo 4, p.19).

Venturi: Este tipo de depurador (Figura 28-2) son útiles para capturar partículas de polvo, utiliza un estrangulamiento en forma de venturi para conseguir una velocidad en la garganta entre 60 y 120 m/s. Esta velocidad ayuda a una mejor limpieza y dispersión del líquido creando un contacto turbulento entre el mismo y el gas. El venturi utiliza la energía del gas para, al hacerla pasara por el venturi, pulverizar en su seno el líquido de lavado. Por ello la importancia de la velocidad de garganta suponiendo consumos de energía elevados. Pueden retener partículas 0,2 a 1.0 μm . Las pérdidas de carga varían de 125 a 2500 mmcda (Sáenz, 2007, pp. 38-39).

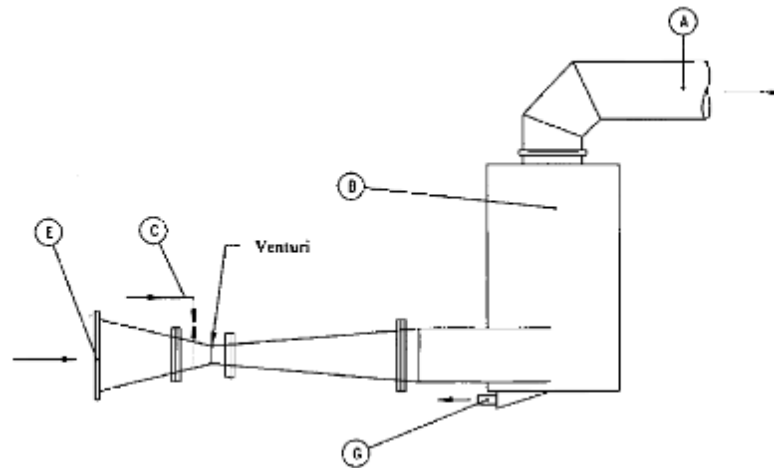


Figura 28-2: Lavador de venturi.

Fuente: (Goberna, 1992, capítulo 4, p.21).

- A. Salida de aire limpio
- B. Separador de gotas
- C. Entrada de agua
- D. Placas de impacto
- E. Entrada de aire sucio
- F. Ciclón húmedo para captación de materias gruesas

Beneficios

- Para los diseños bien realizados la caída de presión es relativamente bajas.
- Pueden manejar polvos inflamables y explosivos.
- Costo de capital bajos.
- Capacidad de recolectar polvos y gases
- Requerimiento de espacio bajo.

Desventajas

- El desecho del agua con el polvo puede causar atascamiento de vías desecho.
- Contaminación de aguas.
- Uso de un ventilador más pequeño y de menor costo.

1.9.3.4 Ciclones

Conocido como separador centrifugo es muy utilizado para la separación de polvo grueso actuando como un depurador previo a otro de mayor eficiencia. La pérdida de carga varia de 20 a 40 mmca no es adecuado para separación de partículas finas (Goberna, 1992, capítulo 4, p.24). Para mover las partículas de la corriente de aire se utiliza la inercia. La corriente de aire entra de forma tangencial por la parte superior con una velocidad elevada como muestra la figura 29-2. Chocando contra la pared, recorriendo hacia el fondo siguiendo una trayectoria espiral. Llega a la parte inferior del ciclón dejando las partículas de polvo por medio de las fuerzas centrifugas estas partículas a su vez se aglomeran y son empujadas fuera del ciclón. Se crea otra línea de flujo de la misma forma espiral pero ahora para ascender para salir por su conducto superior del ciclón (Sáenz, 2007, p. 17).

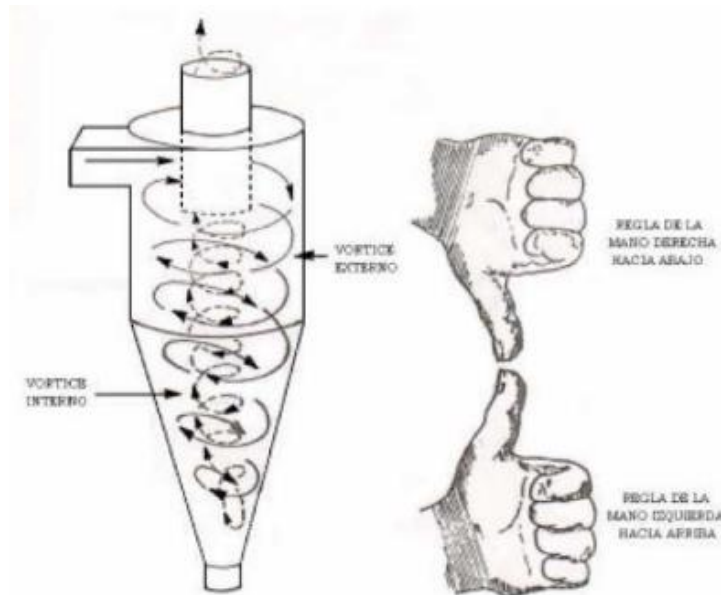


Figura 29-2: Recorrido de las líneas de flujo de aire contaminado y limpio en el ciclón.

Fuente: (Chimbo y Ortiz, 2012, p.39).

La clasificación de los ciclones se basa en tres tipos: convencionales, de alta eficiencia y alta capacidad. Para cada tipo de ciclón existe su respectivo intervalo de eficiencia y tamaño de captación de partículas. La tabla 5-2 nos muestra estos valores.

Tabla 5-2: Intervalo de eficiencia de remoción para diferentes tipos de ciclones.

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

Fuente: (Chimbo y Ortiz, 2012, p.37)

Realizado por: David Pilamunga

Los ciclones convencionales pueden alcanzar eficiencias de hasta 90% para partículas de diámetro aerodinámico mayores a 10 μm y bajos entre 10 y 2.5 μm . Los de alta eficiencia tienen cuerpos de diámetros pequeños con longitud elevada, puede alcanzar eficiencias del 90% para tamaños de partículas de 5 μm y hasta 70 % para 2.5 μm . La pérdida de carga para este tipo de ciclón va de 75 a 200 mmca. No puede tratar grandes caudales de gases. Los de alta capacidad de diámetro de cuerpos grandes y longitud pequeña, diseñados para separar partículas del aire de tamaños mayores a 20 μm siendo inefectivos por debajo de tamaños de 10 μm . Útiles para grandes caudales de aire (Sáenz, 2007, p. 19).

Beneficios

- Bajo costo
- Poco mantenimiento
- Pérdida de carga relativamente baja
- Alto nivel de eficiencia para partículas de 5 μm
- Recolección final del material en seco
- Requerimiento de espacio de instalación menor

Desventajas

- Baja eficiencia para tamaños de partículas pequeñas
- No admite material pegajoso o húmedo

2.4.3.4 Selección del depurador para el proyecto

Se realizó una selección más meticulosa, evaluando parámetros como: costo de inversión, continuidad durante la limpieza, volumen de aire permisible, dificultad de limpieza, Consumo de agua, Eficiencia. El anexo D, nos indica a valoración de estos parámetros. Obteniendo un valor de 28 sobre saliendo de los demás equipos, esto nos rectifica como equipo colector de polvo al filtro de mangas.

Sistema de limpieza

Existen tres sistemas de limpieza de mangas: por sacudido mecánico, aire reverso y pulse-jet. Se evaluó estos tres métodos de limpieza para seleccionar el más idóneo para nuestro proyecto. El anexo D nos indica la comparación entre estos tres métodos, evaluando características como: cantidad de compartimentos, limpieza continua en línea, acumulación en salida, fallo de mangas, tamaño de mangas, entre otros. El sistema con mayor valoración fue el sistema pulse-jet. Por lo tanto, el equipo colector de polvo será: El filtro de mangas con un sistema de limpieza pulse-jet.

2.4.4 Ventiladores

La utilización de un ventilador en el sistema de absorción es de gran importancia debido a que este equipo suministrara la energía para el funcionamiento total del sistema. La definición de este quipo de acuerdo a Soler & Palau (2016, p.39) “son máquinas rotativas capaces de mover una determinada masa de aire, a la que comunican una cierta presión, suficiente para que pueda vencer las pérdidas de carga que se produce en la circulación por los ductos”. Los componentes principales son: la hélice o rodete, soporte y motor. La clasificación de los tipos de ventiladores está de acuerdo a la trayectoria del flujo del aire: centrífugos, axiales y helicocentrífugos.

2.4.4.1 Ventilador centrífugo

Es un aparato compuesto de un rodete o alabe que gira dentro de una carcasa espiral conocida como voluta. La rotación del rodete se asegura mediante un motor, generalmente eléctrico con la finalidad de entregar energía como presión a la corriente de aire o cualquier gas. La aplicación de los ventiladores centrífugos es extensa en el campo de la minería, en el transporte neumático de materiales, acondicionamiento de aire, climatización, etc. Pueden lograr presiones 2600 mmcda y caudales entre 10 litros por segundo hasta 100 m³/s con ventiladores de hasta ocho metros de diámetro. En general la eficiencia de los ventiladores centrífugos no es muy elevada oscila entre 45 y 84 % debido al cambio de dirección del fluido que provoca pérdidas (Lahidalga, 2016, p.95).

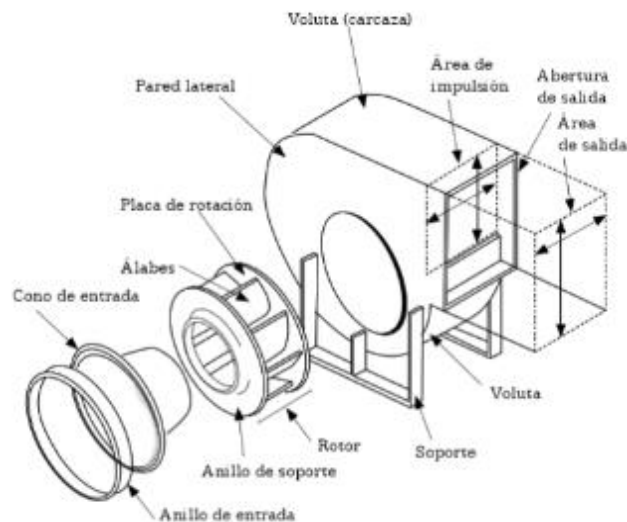


Figura 30-2: Ventilador centrífugo.

Fuente: (Echeverri, 2011, p. 132).

El aire entra en el ventilador a través de una abertura concéntrica con el eje de una pieza que gira a gran velocidad, llamado rotor. El rotor consta de alabes adheridos al mismo. El aire pasa entre los alabes hacia el exterior gracias a la fuerza centrífuga que se genera y abandona el

rotor con una velocidad mayor que en la entrada. El aire sale a una carcasa espiral llamada voluta, saliendo finalmente tangencialmente a la voluta (Echeverri, 2011, p. 132).

La velocidad de giro del rodete se puede variar con el diseño de las aletas, existen aletas curvas hacia atrás que consumen menos potencia útil para mover gases y vapores. Ventiladores de aleta radial se utilizan para mover material de diferente densidad. El tipo de aletas se puede identificar en la figura 31-2



Figura 31-2: Tipos de rodetes.

Fuente: (Echeverri, 2011, p. 133).

Para el control de contaminación del aire en la industria, calefacción, ventilación y aire acondicionado se utilizan ventiladores centrífugos con diseño de alabes inclinados hacia atrás produciendo los menores niveles de ruido. Ventiladores con alabes curvos hacia adelante (figura 32-2) son útiles en aplicaciones de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire, para caudales altos de aire a baja presión, emite un ruido mayor. Habitualmente posee 36 y 64 alabes (Echeverri, 2011, p. 135).

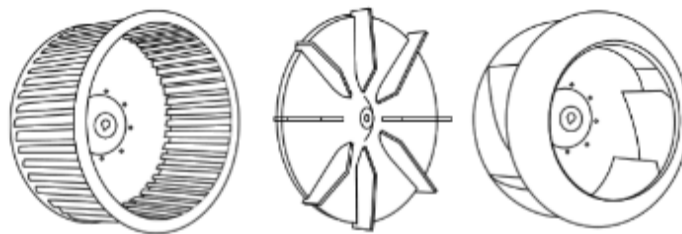


Figura 32-2: Alabes curvos hacia adelante, radiales y curvos hacia atrás.

Fuente: (Echeverri, 2011, p. 134).

La utilización de ventiladores con alabes radiales en aplicaciones pesadas como el movimiento de aire con contaminantes con virutas de madera, arena o partículas de papel. Por lo general tienen 6 y 12 alabes. Por lo general el caudal de aire y salida provoca irregularidades en el ventilador generando mayor ruido.

2.4.4.2 Ventilador axial

En este tipo de ventilador el aire entra y sale de la hélice con trayectorias conservando la dirección de este. Se utilizan para mover grandes cantidades de aire en espacios abiertos, la eficiencia es muy alta llega hasta el 95%. El problema está en las caídas de presión, no puede vencer caídas de presión muy elevadas entre 5 y 25 mmca, si se utiliza este tipo de ventiladores bajo condiciones de presión mayor a las previstas provocará ruido considerable. La principal aplicación es en el campo de la ventilación general. La figura 33-2 muestra los componentes del ventilador axial (Echeverri, 2011, pp. 127-128). Los ventiladores se dividen en tres tipos principales: Axiales con aletas guía, turbo axiales y helicoidales.

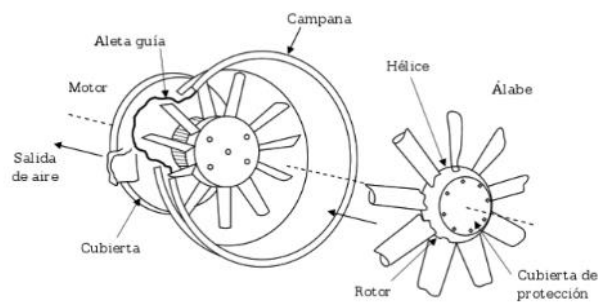


Figura 33-2: Componentes del ventilador axial.

Fuente: (Echeverri, 2011, p. 128).

El ventilador axial con aletas guía es el de mayor eficiencia se emplea en instalaciones industriales y en ventilación de aspiración mecánica en calderas de uso público. El ventilador turbo axial no consta de aletas guía de salida de aire. Con eficiencia menor al anterior y costo menor se emplea en conductos de baja presión. Para instalaciones de calefacción ventilación y aire acondicionado. Ventilador helicoidal empleados en compartimentos aislados no conectados al sistema de conductos. Indicados para instalaciones a muy bajas presiones utilizados en ventilación por evacuación en techos (Echeverri, 2011, p. 129). Los valores típicos de operación son:

Tabla 7-3: Valores típicos de caudal y caída de presión de ventiladores axiales.

Tipo	Caudal (m^3/s)	Caída de presión ($mm H_2O$)
Axial de propela	0.24-23.60	0-15.9
Axial de aspas	0.24-18.88	0-15.9
Tuboaxial	0.24-28.32	0-50.8
Helicoidales	0.24-70.79	0-127

Fuente: (Echeverri, 2011, p. 132)

CAPÍTULO III

3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.1 Diseño y selección de los componentes del sistema de absorción de polvo.

La empresa Ecuacerámica se ubica en la provincia de Chimborazo, ciudad de Riobamba. El uso de datos de las condiciones ambientales en esta ciudad será de mucha utilidad para el cálculo de parámetros influyentes en el diseño y selección de componentes.

Tabla 1-3: Condiciones ambientales lugar de instalación del sistema de extracción.

CONDICIONES AMBIENTALES		
CIUDAD	Riobamba	
ALTITUD	2764	m
PRESIÓN ATMOSFÉRICA ESTÁNDAR	1016	hPa
TEMPERATURA PROMEDIO	14	°C
VELOCIDAD DEL VIENTO EN EL INTERIOR	0	m/s
DENSIDAD DEL AIRE	1.296	Kg/m ³
VISCOSIDAD DEL AIRE	1.34 x 10 ⁻⁵	m ² /s

Fuente: Negrete y Arévalo, 2013

Realizado por: David Pilamunga

El sistema de extracción de polvo está compuesto de los siguientes elementos:

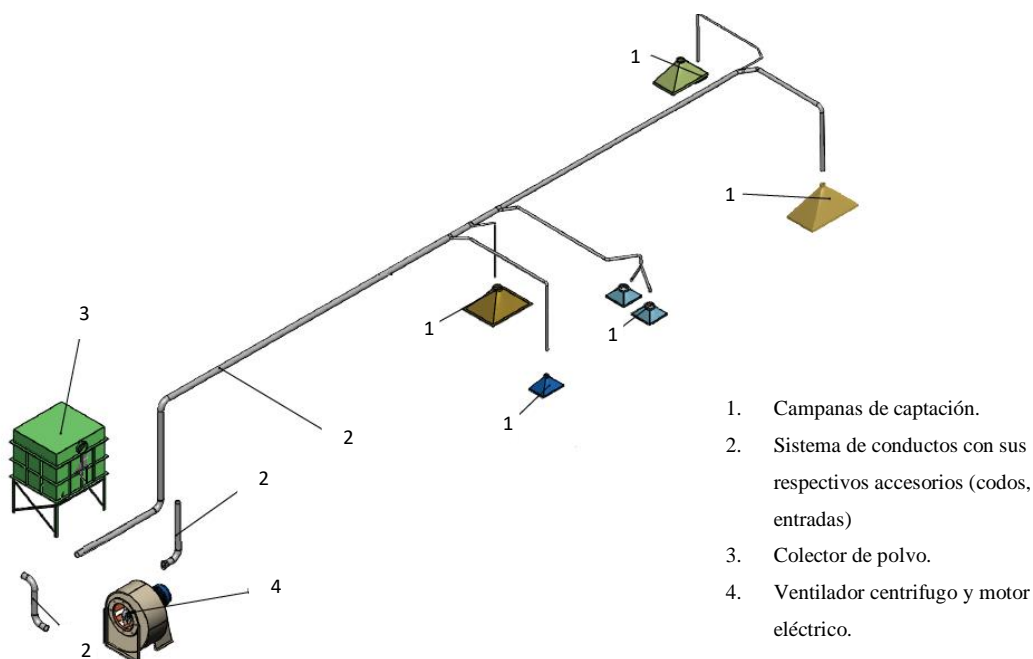
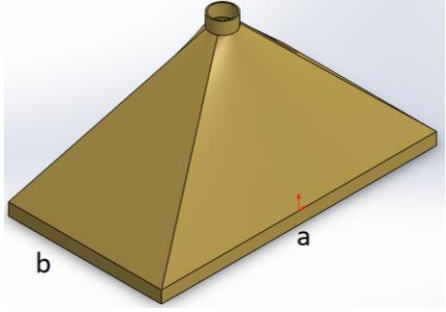
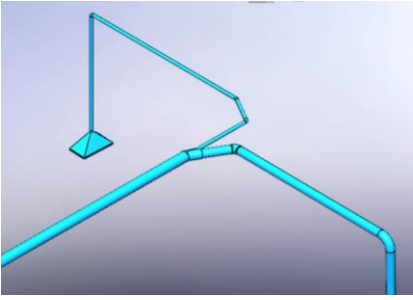
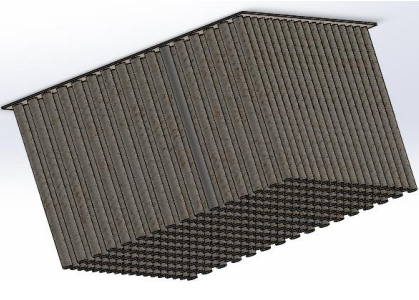
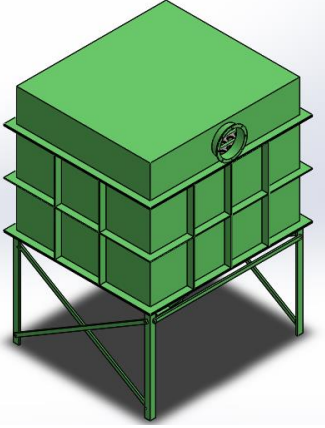


Figura 1-3: Sistema de extracción localizada propuesta.

Fuente: Pilamunga David, 2019

Realizado por: David Pilamunga

Para el diseño del sistema de extracción localizada se sigue la secuencia de cálculo recomendado por la ACGIH (Conferencia americana de Higienistas Industriales Gubernamentales). LA ACGIH nos detalla que componente del sistema se diseña en primera instancia, y los que parámetros se debe a tener en cuenta. A continuación, la Figura 2-3 nos muestra la secuencia de cálculo de las dimensiones y la selección de los componentes del sistema de extracción.

Orden	Componente	Imagen	Descripción de diseño o selección
A	Campana de extracción		<p>El componente campana se diseña con la finalidad de obtener el caudal necesario de succión. Se dimensiona la boca de succión, es decir al ancho a y largo b.</p>
B	Ductos de transporte		<p>En el dimensionamiento del ducto se calcula el diámetro interno que garantiza una velocidad recomendada para evitar el depósito de polvo en el ducto. También se dimensiona el tramo del ducto de acuerdo al espacio disponible en la empresa.</p>
C	Colector de polvo tipo mangas		<p>Para el dimensionamiento del colector de polvo se calcula el diámetro y longitud de las mangas de acuerdo a esto se calcula el área de filtración. Se determina el número de mangas necesarias para obtener el área de filtración deseada.</p>
			<p>La estructura que contiene a las mangas se diseña de acuerdo a las dimensiones que genera los filtros. Consta de una descarga del aire limpio y una tolva por donde se descarga el polvo.</p>

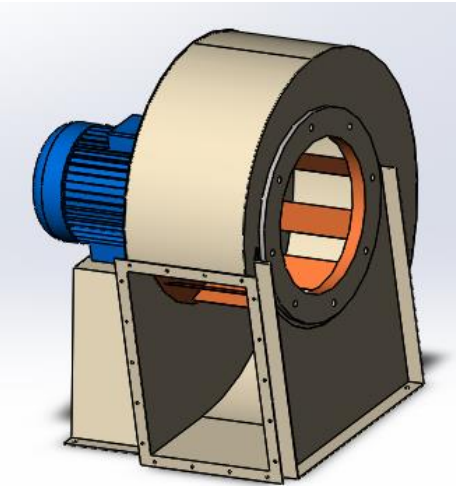
D	Ventilador centrifugo y motor eléctrico		<p>El ventilador centrifugo se seleccionado de acuerdo a catálogos provistos por los fabricantes. Para la selección se calcula la potencia mínima que debe entregar el ventilador. Esta potencia la entregara el motor y se calcula con la pérdida total presión estática en el sistema de tuberías y la del colector de polvo. El caudal total necesario para absorber la cantidad de polvo establecido y la potencia mínima seleccionamos el ventilador que cumpla con estas especificaciones.</p>
---	---	--	--

Figura 2-3: Secuencia de diseño de componentes del sistema de extracción

Fuente: Pilamunga David, 2019

Realizad por: David Pilamunga

3.1.1 *Diseño de campanas de succión - A*

Para mover las partículas de polvo se lo realiza por medio del aire, se determina cual es el valor del caudal de aire necesario para mover una determinada cantidad de polvo. Para el cálculo del caudal de aire necesario para capturar con eficiencia el contaminante Niveló y Ugalde (2011) mencionan que la relación del flujo másico de polvo y flujo másico de aire es 0,5%. Ecuación 1

$$R = \frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_f}$$

Donde:

R = Relación de polvo – aire

\dot{m}_p = Flujo másico de polvo a extraer

\dot{m}_f = Flujo másico de aire a extraer

De la ecuación 1 despejamos el flujo volumétrico de aire necesario para transportar las partículas de polvo.

$$R = \frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_f}$$

$$R = \frac{\dot{m}_p}{\rho_f Q_f}$$

$$Q_f = \frac{\dot{m}_p}{\rho_f R}$$

El flujo másico de polvo a extraer se obtiene de dividir el peso total en cada zona para el tiempo de exposición a la fuente de generación. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 2-3

Tabla 2-3: Flujo másico de polvo.

Zona	Tiempo (h)	Peso total (Kg)	Flujo másico (Kg/h)
VIBROTAMIZ N.2	162	1188	7.33
VIBROTAMIZ N.1	162	16827	103.87
DESCARGA SOBRE SILOS IZQUIERDA	195	3602	18.47
DESCARGA SOBRE SILOS DERECHA	195	3602	18.47
ELEVADOR DE CANGILONES. N2	162	1300	8.02
ELEVADOR CANGILONES. N1	29	736	25.37

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

3.1.1.1 Caudal mínimo en las zonas de estudio

- Vibrotamiz N.2

$$Q_f = \frac{\dot{m}_p}{\rho_f R} = \frac{7.33 \frac{kg}{h}}{(1.296 \frac{kg}{m^3})(\frac{0.5}{100})} = 1131.69 \frac{m^3}{h}$$

- Vibrotamiz N.1

$$Q_f = \frac{\dot{m}_p}{\rho_f R} = \frac{103.87 \frac{kg}{h}}{(1.296 \frac{kg}{m^3})(\frac{0.5}{100})} = 16029.00 \frac{m^3}{h}$$

- Descarga sobre silos izquierda

$$Q_f = \frac{\dot{m}_p}{\rho_f R} = \frac{18.47 \frac{kg}{h}}{(1.296 \frac{kg}{m^3})(\frac{0.5}{100})} = 2850.27 \frac{m^3}{h}$$

- Descarga sobre silos derecha

$$Q_f = \frac{\dot{m}_p}{\rho_f R} = \frac{18.47 \frac{kg}{h}}{(1.296 \frac{kg}{m^3})(\frac{0.5}{100})} = 2850.27 \frac{m^3}{h}$$

- Elevador de cangilones N.2

$$Q_f = \frac{\dot{m}_p}{\rho_f R} = \frac{8.02 \frac{kg}{h}}{(1.296 \frac{kg}{m^3})(\frac{0.5}{100})} = 1238.38 \frac{m^3}{h}$$

- Elevador de cangilones N.1

$$Q_f = \frac{\dot{m}_p}{\rho_f R} = \frac{25.37 \frac{kg}{h}}{(1.296 \frac{kg}{m^3})(\frac{0.5}{100})} = 3914.96 \frac{m^3}{h}$$

3.1.1.2 Caudal que generan las distintas campanas

Para el dimensionamiento de las campanas se debe comenzar seleccionando el tipo de campana que se requiere. Las fuentes generadoras de polvo tienen distintas dimensiones y ubicación, por lo que se ha designado de acuerdo a estos parámetros el tipo de campana. La tabla 3-3 muestra las dimensiones de los equipos de emisión de polvo, a su vez el tipo de campana a instalar. La selección del tipo de campana determina parcialmente el caudal de aire que esta generara para captar la emisión. Este caudal debe ser igual o mayor al caudal mínimo antes calculado.

Tabla 3-3: Tipo de campanas y dimensiones de las zonas generadoras de polvo.

Zona	Dimensiones de emisión (m)			Tipo de campana	Designación campanas
	a	B	x		
VIBROTAMIZ N.2	2.1	1.1	0.2	Suspendida	1
VIBROTAMIZ N.1	2.5	1.1	1.1	Suspendida	2
DESCARGA SOBRE SILOS IZQUIERDA	0.7	0.7	0.6	Suspendida	3
DESCARGA SOBRE SILOS DERECHA	0.7	0.7	0.6	Suspendida	4
ELEVADOR DE CANGILONES. N2	1.0	0.7	0.3	Suspendida	5
ELEVADOR CANGILONES. N1	1.2	1.6	0.4	Con pestaña	6

El valor de a es el ancho y b el largo de la emisión, el valor de x es la distancia desde el extremo de la campana hasta la fuente de contaminación

Fuente: David Pilamunga, 2018.

Realizado por: David Pilamunga

Se procederá al cálculo del caudal que genera cada tipo de campana. Las fórmulas para el cálculo de las campanas suspendidas y con pestañas son las siguientes:

Caudal de aire en campana elevada.

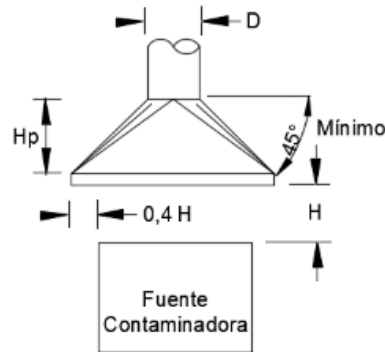


Figura 3-3: Parámetros de diseño de campana suspendida.

Fuente: (Goberna, 1992)

$$Q = 1.4PHV$$

Donde:

Q= Caudal de aire (m³/s)

P= Perímetro de la emisión de polvo (m)

H= distancia entre el extremo de la campana y la fuente de contaminación (m)

V= Velocidad de Captura (m/s)

Caudal de aire en campana con pestaña.

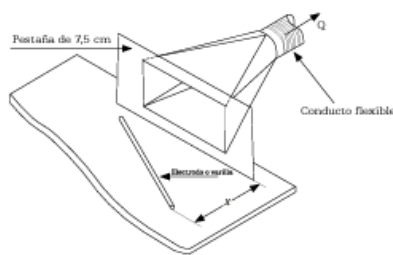


Figura 4-3: Campana con pestaña.

Fuente: (Echeverri, 2011, p.47)

$$Q = 0.76V(10x^2 + A)$$

Donde:

Q= Caudal de aire necesario para absorber las partículas de polvo (m³/s)

V= Velocidad de captura (m/s)

x= Distancia entre el foco de la campana hasta la fuente (m)

A= Área de la sección de la emisión de polvo (m²)

Altura de plenum

$$H_p = \frac{L - D}{2}$$

Donde:

H_p = Altura de plenum (m)

L = Lado más largo de la sección de la campana (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

Conociendo las formulas a aplicar se calcula el caudal y la altura del plenum para cada campana. Es importante dar a conocer que un parámetro de las ecuaciones mencionadas es la velocidad de captura que ayuda a capturar con eficiencia la cantidad de polvo. La tabla 1 del anexo B recomienda valores para las velocidades de captura, estos valores se deben seleccionar de acuerdo a las condiciones de la fuente de contaminación.

- Campana 1

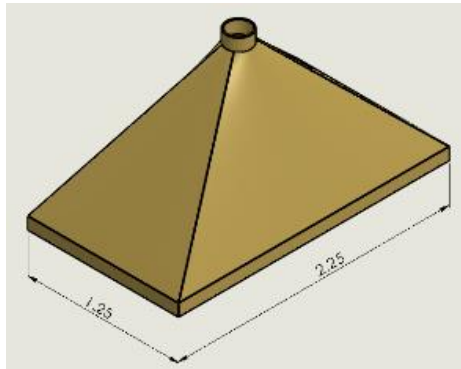


Figura 5-3: Campana para Vibrotamiz N.2

Fuente: Pilamunga David, 2019

Realizado por: David Pilamunga

$$Q = 1.4PHV$$

$$Q = 1.4(2.1m + 1.1m)(0.2m)(0.5 \frac{m}{s})$$

$$Q = 0.448 \frac{m^3}{s}$$

$$H_p = \frac{L - D}{2}$$

$$H_p = \frac{2.26 - 0.2}{2}$$

$$H_p = 1.00 m$$

- Campana 2

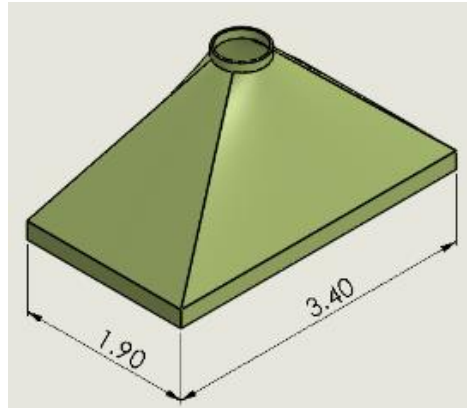


Figura 6-3: Campana para Vibrotamiz N.1

Fuente: Pilamunga David, 2019

Realizado por: David Pilamunga

$$Q = 1.4PHV$$

$$Q = 1.4(2.5m + 1.1m)(1.1m)(0.75 \frac{m}{s})$$

$$Q = 4.17 \frac{m^3}{s}$$

$$H_p = \frac{L - D}{2}$$

$$H_p = \frac{3.4 - 0.55}{2}$$

$$H_p = 1.40 m$$

- Campana 3

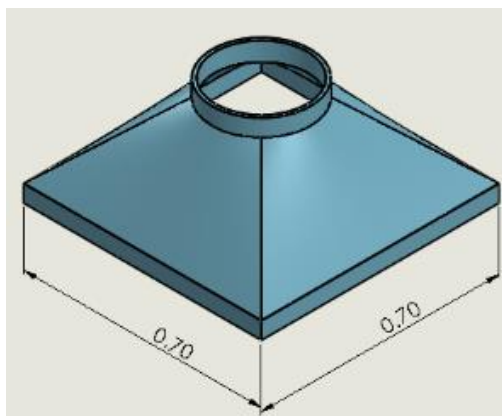


Figura 7-3: Campana descarga sobre silos izq.

Fuente: Pilamunga David, 2019

Realizado por: David Pilamunga

$$Q = 1.4PHV$$

$$Q = 1.4(0.7m + 0.7m)(0.6m)(0.75 \frac{m}{s})$$

$$Q = 0.882 \frac{m^3}{s}$$

$$H_p = \frac{L - D}{2}$$

$$H_p = \frac{0.7 - 0.27}{2}$$

$$H_p = 0.22 m$$

- Campana 4

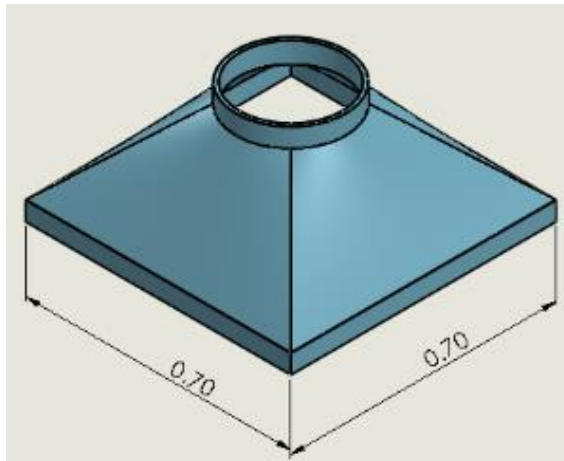


Figura 8-3: Campana descarga sobre silos derecha.

Fuente: Pilamunga David, 2019

Realizado por: David Pilamunga

$$Q = 1.4PHV$$

$$Q = 1.4(0.7m + 0.7m)(0.6m)(0.75 \frac{m}{s})$$

$$Q = 0.882 \frac{m^3}{s}$$

$$H_p = \frac{L - D}{2}$$

$$H_p = \frac{0.7 - 0.27}{2}$$

$$H_p = 0.22 m$$

- Campana 5

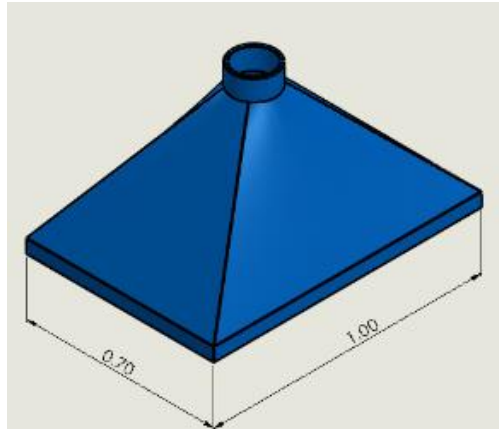


Figura 9-3: Campana zona elevador de cangilones N.2

Fuente: Pilamunga David, 2019

Realizado por: David Pilamunga

$$Q = 1.4PHV$$

$$Q = 1.4(1.0m + 0.7m)(0.3m)(0.5 \frac{m}{s})$$

$$Q = 0.357 \frac{m^3}{s}$$

$$H_p = \frac{L - D}{2}$$

$$H_p = \frac{1 - 0.16}{2}$$

$$H_p = 0.42 m$$

- Campana 6

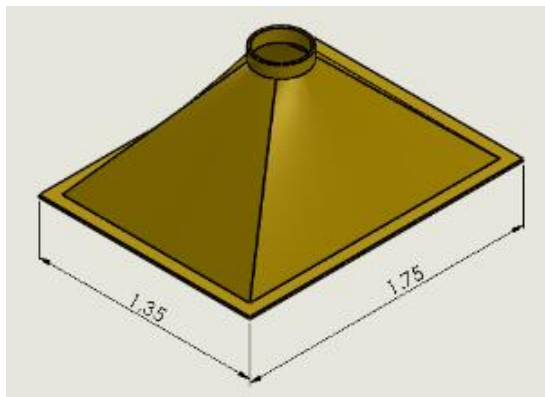


Figura 10-3: Campana zona elevador de cangilones N.1

Fuente: Pilamunga David, 2019

Realizado por: David Pilamunga

$$Q = 0.76V(10x^2 + A)$$

$$Q = 0.76 \left(0.5 \frac{m}{s}\right) (10(0.4m)^2 + (1.2 * 1.6))$$

$$Q = 1.338 \frac{m^3}{s}$$

$$H_p = \frac{L - D}{2}$$

$$H_p = \frac{1.6 - 0.31}{2}$$

$$H_p = 0.65 m$$

Se verifica que los caudales de diseño que proporcionan las campanas son mayores a los caudales mínimos establecidos (demanda). Las dimensiones de la campana con pestaña se recomiendan de 15 cm de ancho acuerdo a la teoría. A continuación, se presenta una tabla con las dimensiones de cada campana.

Tabla 4-3: Dimensiones de campanas de succión de acuerdo a sus parámetros.

Campana	Velocidad captura (m/s)	Demanda (m ³ /s)	Q. diseño (m ³ /s)	Largo W (m)	Ancho L (m)	Plenum Hp (m)
1	0.50	0.314	0.448	2.25	1.25	1
2	0.75	4.1452	4.174	3.40	1.90	1.40
3	0.75	0.792	0.882	0.70	0.70	0.22
4	0.75	0.792	0.882	0.70	0.70	0.22
5	0.50	0.344	0.357	1.00	0.70	0.42
6	0.50	1.087	1.338	1.35	1.75	0.65

Fuente: David Pilamunga, 2018.

Realizado por: David Pilamunga

3.1.2 Diseño del sistema de ductos

Para diseño del sistema de ductos previamente se debe tener de un diagrama unifilar de la distribución de ductos, identificando con números las campanas de extracción y con letras las uniones de ductos. La figura 11-3 muestra el diagrama unifilar del sistema de ductos. Se utilizará el método de equilibrio por diseño, este nos garantizará la distribución correcta del caudal por los distintos tramos. Por consiguiente, la velocidad mínima de transporte. Para ello ser de utilidad conocer los caudales mínimos que el apartado de diseño de campanas se obtuvo.

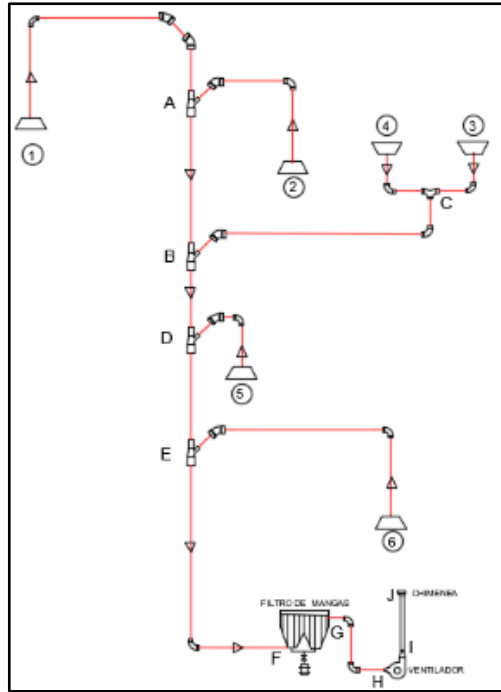


Figura 11-3: Diagrama unifilar de la distribución de ductos por la planta.

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

Mediante la figura 10-4 se establece los diferentes tramos de tubería que consiste nuestro sistema, así como los accesorios, campanas y equipo de depuración y equipo generador de la presión necesaria para el sistema.

Tabla 5-3: Características de los componentes de cada tramo del sistema de ductos.

ID	Ángulo campana	Q(m ³ /s)	L(m)	Curvas R/D=2	Unión
1-A	90°	0.448	26	1-90° 1-60°	1-30°
2-A	90°	4.736	24	1-90° 1-60°	1-30°
A-B	-	-	46	-	-
3-C	90°	0.882	3	-	1-30°
4-C	90°	0.882	3	-	1-30°
C-B	-	-	25	1-90° 2-60°	1-30°
B-D	-	-	5	-	-
5-D	90°	0.357	12	1-90°	1-30°
D-E	-	-	4	-	-
6-E	90°	1.338	28	1-90° 1-60°	1-30°
E-F	-	-	85	2-90°	-
VENTILADOR CENTRÍFUGO					
G-H	-	-	6	2-90°	-
FILTRO DE MANGAS					
J-I	-	-	5	-	-

Fuente: Pilamunga David, 2018

Realizado por: David Pilamunga

Nota: Enschm= ensanchamiento gradual

La tabla 5-3 nos indica los tipos las características que debe tener nuestro sistema de acuerdo a lo recomendado. Esto será de ayuda para cuantificar las pérdidas de carga o presión en el sistema. Para determinar el diámetro y longitud de cada ducto, se debe garantizar que en cada nodo los tramos de ductos lleguen con la misma presión estática total. Esto garantizara que el ventilador distribuya correctamente el caudal por todos los tramos de ductos.

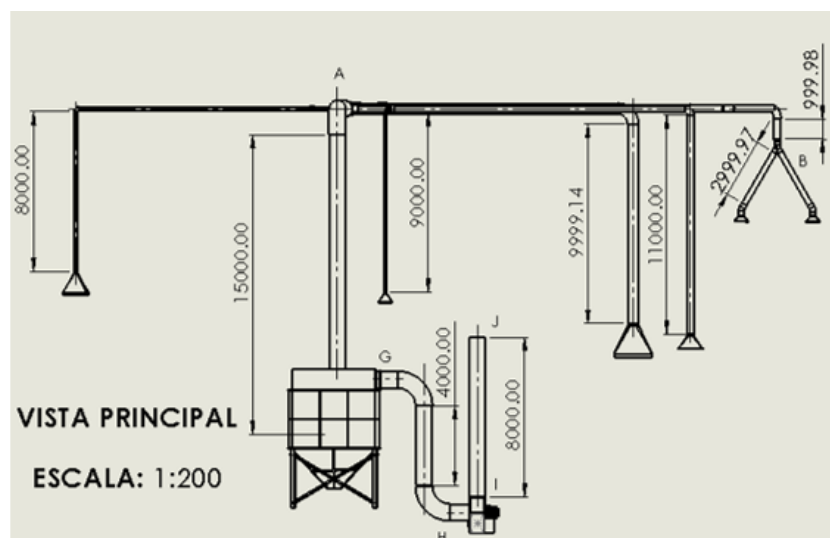
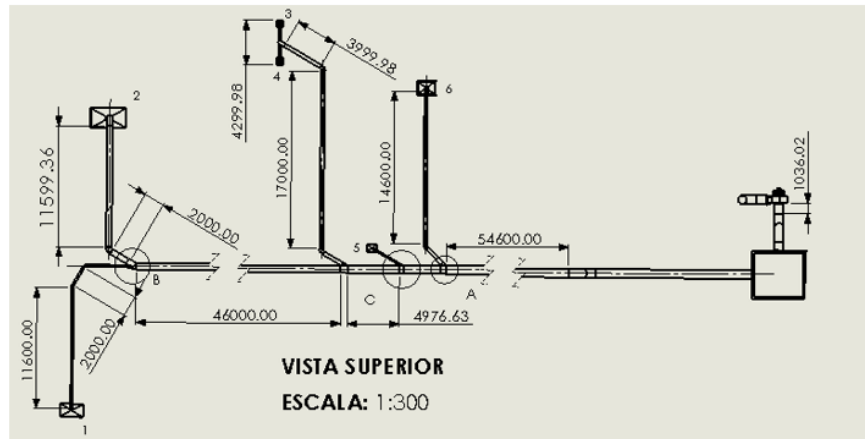


Figura 12-3: Distribución de ductos en la planta.

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

La figura nos muestra la distribución de ductos con sus respectivos datos de longitud. Para el transporte de aire con partículas de polvo se establece una velocidad mínima de transporte, con la finalidad de asegurar que las partículas de polvo no se sedimenten. De la tabla 2 del anexo B tomamos la velocidad mínima recomendada de transporte (V_t) para la clase de partículas a manejar. En este caso hemos utilizado partículas industriales, tomamos el valor de 18 m/s. Comenzaremos con el cálculo de la presión estática total en el tramo 1-A. Ya que este tiene más accesorios y es de mayor longitud comparado con el tramo 2-A.

TRAMO 1-A

Calculo del diámetro de diseño (d)

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_t}}$$

Donde:

d = Diámetro de diseño (m)

Q = Caudal (m^3/s)

V_t = Velocidad mínima de diseño (m/s)

$$d = \sqrt{\frac{4(0.448 \frac{m^3}{s})}{\pi(18 \frac{m}{s})}}$$

$$d = 0.178 \text{ m}$$

Con el cálculo del diámetro de diseño se elige un diámetro comercial menor más próximo cuando se trabaja con polvo como contaminante. Esto es importante para asegurar la velocidad mínima de transporte.

Diámetro comercial (d_c)

$$d_c = 0.180 \text{ m}$$

Con el diámetro comercial y el caudal calculamos la velocidad real de transporte que tendremos el tramo de ducto.

Velocidad de transporte real (V_r)

$$V_r = \frac{4Q}{\pi(d_c)^2}$$

Donde:

V_r = Velocidad real (m/s)

d_c = Diámetro de comercial (m)

Q = Caudal (m^3/s)

$$V_r = \frac{4(0.448)}{\pi(0.180)^2}$$

$$V_r = 17.61 \frac{m}{s}$$

Se calcula las distintas pérdidas que existen en ductos: pérdida por fricción en tramos rectos (h_1), pérdida por accesorios (h_2) y pérdida por entradas en las campanas (h_3). Es importante mencionar que para el cálculo de estas pérdidas se utilizó el método de presión dinámica.

Perdida por fricción en tramo rectos (h_1)

$$h_1 = f_c * j * l$$

Donde:

$h_1 =$ *perdida por fricción en tramos rectos (mmcda)*

$f_c =$ *Factor de correccion por rugosidad*

$j =$ *Pérdida de carga por unidad de longuitud ($\frac{mmcda}{m}$)*

$l =$ *longuitud total del tramo (m)*

El valor del factor de corrección por rugosidad se obtiene de la figura 6-2 del anexo C. Trabajaremos con material para los ductos de PVC, son ductos bastante lisos con rugosidad aproximada de $\varepsilon = 0.000005$. Con este valor y la velocidad de trasporte real $17.61 \frac{m}{s}$.

$$f_c = 0.73$$

Para determinar la perdida de carga por unidad de longitud (j) se utilizará la siguiente ecuación:

$$j = 5.38 \frac{V_r^{1.9}}{d_c^{1.22}}$$

Donde:

$j =$ *Pérdida de carga por unidad de longuitud ($\frac{mmcda}{m}$)*

$V_r =$ *velocidad de trasnporte real ($\frac{m}{s}$)*

$d_c =$ *Diámetro comercial (mm)*

$$j = 5.38 \frac{(17.6)^{1.9}}{(180)^{1.22}}$$

$$j = 2.22 \frac{mmcda}{m}$$

Por lo tanto, la pérdida por fricción en tramos rectos es igual

$$h_1 = f_c * j * l = (0.73)(2.22)(26)$$

$$h_1 = 42.11 \text{ mmcda}$$

Perdida por accesorios (h_2)

$$h_2 = P_D * \sum k$$

Donde:

$h_2 =$ *perdida por accesorios (mmcda)*

$P_D =$ *Presion dinámica (mmcda)*

$\sum k =$ *Sumatoria de todos los coeficientes de perdida de accesorios*

Tenemos en este tramo de ducto dos curvas de 90° y 60° , con una relación $R/D=2$ y una unión de 30° . Para determinar los coeficientes respectivos se utilizó las figuras que en el anexo D se visualiza.

$$k_{90^\circ} = 0.27$$

$$k_\theta = \frac{\theta}{90^\circ} k_{90^\circ} = \frac{60^\circ}{90^\circ} 0.27 = 0.18$$

$$k_{unión} = 0.18$$

$$\sum k = 0.63$$

La presión dinámica que ayuda a obtener la velocidad de trasporte real del aire en el ducto viene expresada como:

$$P_D = \frac{V_r^2}{16.35}$$

$$P_D = \frac{(17.61)^2}{16.35}$$

$$P_D = 18.96 \text{ mmcda}$$

La pérdida por accesorios

$$h_2 = P_D * \sum k = (18.96)(0.63)$$

$$h_2 = 11.94 \text{ mmcda}$$

Perdida por entrada en campanas de extracción (h_3)

$$h_3 = P_D * (K_{\text{entrada}} + 1)$$

El valor de K_{entrada} coeficiente de pérdida debido a la entrada en la campana se obtiene de la figura del anexo E. Con un ángulo interior de la campana igual a 90° y forma rectangular.

$$K_{\text{entrada}} = 0.25$$

$$h_3 = 18.96 * (0.25 + 1)$$

$$h_3 = 23.7 \text{ mmcda}$$

La pérdida total de presión estática es igual:

$$P_e = h_1 + h_2 + h_3$$

$$P_e = 42.11 + 11.94 + 23.70$$

$$P_e = 77.75 \text{ mmcda}$$

TRAMO 2-A

Realizamos el mismo procedimiento que el tramo 1-A para determinar la pérdida de presión estática con las características que la tabla 6-4 nos indica.

Calculo del diámetro de diseño (d)

$$d = 0.579 \text{ m}$$

Diámetro comercial (d_c)

$$d_c = 0.570 \text{ m}$$

Velocidad de transporte real (V_r)

$$V_r = 18.56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Perdida por fricción en tramo rectos (h_1)

$$h_1 = f_c * j * l$$

$$f_c = 0.74$$

$$j = 5.38 \frac{V_r^{1.9}}{d_c^{1.22}}$$

$$j = 0.601 \frac{mmcda}{m}$$

$$h_1 = 10.67 \text{ mmcda}$$

Perdida por accesorios (h_2)

$$h_2 = P_D * \sum k$$

$$k_{90^\circ} = 0.27$$

$$k_\theta = \frac{\theta}{90^\circ} k_{90^\circ} = \frac{60^\circ}{90^\circ} 0.27 = 0.18$$

$$k_{unión} = 0.18$$

$$\sum k = 0.63$$

$$P_D = \frac{V_r^2}{16.35}$$

$$P_D = \frac{(18.56)^2}{16.35}$$

$$P_D = 21.07 \text{ mmcda}$$

La perdida por accesorios

$$h_2 = 13.27 \text{ mmcda}$$

Perdida por entrada en campanas de extracción (h_3)

$$h_3 = P_D * (K_{entrada} + 1)$$

$$K_{entrada} = 0.25$$

$$h_3 = 26.34 \text{ mmcda}$$

La pérdida total de presión estática es igual:

$$P_e = h_1 + h_2 + h_3$$

$$P_e = 10.67 + 13.27 + 26.34$$

$$P_e = 50.28 \text{ mmcda}$$

Como podemos observar en la 5-2 estos dos tramos concurren en el nodo A. Por lo que debemos garantizar que la pérdida de presión estática en cada tramo sean las mismas. Existen tres consideraciones que nos ayudan a determinar si nuestro sistema está o no equilibrado.

Consideraciones:

- $\%Error_{P_e} \leq 5\%$ el sistema está equilibrado
- $5\% < \%Error_{P_e} \leq 20\%$ no está equilibrado y se corrige el tramo con menor pérdida cambiando el caudal con la siguiente formula con recomendación.

$$Q_{nuevo} = Q_{tramo\ mayor\ P_e} \left(\frac{P_{e\ mayor}}{P_{e\ menor}} \right)^{0.5} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

- $\%Error_{P_e} > 20\%$ no está equilibrado y se cambia el diámetro del tramo de menor pérdida. Se puede tomar como una primera estimación el diámetro:

$$d_{nuevo\ o\ diseño} = d_{tramo\ menor\ P_e} \left(\frac{P_{e\ menor}}{P_{e\ mayor}} \right)^{\left(\frac{1}{4.5} \right)} \quad [m]$$

Para los tramos 1-A y 2-A determinamos el error en porcentaje.

$$\%Error_{P_e} = \frac{|P_{e\ mayor} - P_{e\ menor}|}{P_{e\ mayor}} * 100$$

$$\%Error_{P_e} = \frac{|77.75 - 50.28|}{77.75} * 100$$

$$\%Error_{P_e} = 35.33\% > 20\% \text{ no se encuentra equilibrado el tramo 1-A y 2-A}$$

El método de equilibrio por diseño nos indica que para contaminantes de polvo se debe mantener el tramo con mayor pérdida de presión estática y cambiar el tramo de menor pérdida hasta igual la pérdida de este al de mayor pérdida de presión estática. Ya que no podemos cambiar el tramo de mayor pérdida de presión estática, debido que disminuiría la velocidad mínima de transporte. Por lo tanto, debemos obtener un diámetro nuevo para el tramo 2-A.

$$d_{nuevo\ o\ diseño} = (0.570) \left(\frac{50.28}{77.75} \right)^{\left(\frac{1}{4.5} \right)} \quad [m]$$

$$d_{nuevo\ o\ diseño} = 0.564 \text{ m}$$

Con este diámetro recalculamos el tramo 2-A de la misma forma antes realiza. Obteniendo una pérdida de presión estática total igual a 54.02 mmcda, tampoco llegando a igual el valor de 77.75 mmcda que tiene el tramo 1-A. Por lo que se debe ir disminuyendo el diámetro hasta lograr equilibrar. Con el diámetro de 0.520 mm se obtuvo una pérdida de presión estática de 73.88 mmcda.

Que dando las pérdidas de la siguiente manera:

$$Pe_{1-A} = 77.75 \text{ mmcda}$$

$$Pe_{2-A} = 73.88 \text{ mmcda}$$

$$\%Error_{Pe} = \frac{|Pe_{mayor} - Pe_{menor}|}{Pe_{mayor}} * 100$$

$$\%Error_{Pe} = \frac{|77.75 - 73.88|}{77.75} * 100$$

$$\%Error_{Pe} = 4.98 \% \leq 5 \% \text{ quedando equilibrado el sistema}$$

El equilibrio del sistema se debe llevar a cabo nodo tras nodo hasta llegar a equilibrar todo el sistema. Procedemos a calcular las pérdidas en los tramos 3-C y 4-C ya que estas concurren en el nodo C.

TRAMO 3-C

Calculo del diámetro de diseño (d)

$$d = 0.250 \text{ m}$$

Diámetro comercial (d_c)

$$d_c = 0.250 \text{ m}$$

Velocidad de transporte real (V_r)

$$V_r = 17.97 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Perdida por fricción en tramo rectos (h₁)

$$h_1 = f_c * j * l$$

$$f_c = 0.74$$

$$j = 5.38 \frac{V_r^{1.9}}{d_c^{1.22}}$$

$$j = 2.35 \frac{mmcda}{m}$$

$$h_1 = 3.43 \text{ mmcda}$$

Perdida por accesorios (h_2)

$$h_2 = P_D * \sum k$$

$$k_{unión} = \sum k = 0.18$$

$$P_D = 19.75 \text{ mmcda}$$

La pérdida por accesorios

$$h_2 = 3.55 \text{ mmcda}$$

Perdida por entrada en campanas de extracción (h_3)

$$h_3 = P_D * (K_{entrada} + 1)$$

$$K_{entrada} = 0.25$$

$$h_3 = 24.68 \text{ mmcda}$$

La pérdida total de presión estática es igual:

$$P_e = h_1 + h_2 + h_3$$

$$P_e = 3.43 + 3.55 + 24.68$$

$$P_e = \mathbf{31.67 \text{ mmcda}}$$

TRAMO 4-C

El tramo 4-C tendrá la misma pérdida de presión estática debido que tienen las mismas características.

$$P_e = \mathbf{31.67 \text{ mmcda}}$$

Por lo tanto $Pe_{3-C} = Pe_{4-C} = 31.67 \text{ mmcda}$ quedando equilibrado el sistema en este nodo.

TRAMO C-B

En este tramo concurren los tramos 3-C y 4-C por lo que el caudal estado dado por:

$$Q_{C-B} = Q_{3-C} + Q_{4-C}$$

$$Q_{C-B} = 0.882 \frac{m^3}{s} + 0.882 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{C-B} = 1.764 \frac{m^3}{s}$$

Calculo del diámetro de diseño (d)

$$d = 0.353 \text{ m}$$

Diámetro comercial (d_c)

$$d_c = 0.350 \text{ m}$$

Velocidad de transporte real (V_r)

$$V_r = 18.34 \frac{m}{s}$$

Perdida por fricción en tramo rectos (h_1)

$$h_1 = f_c * j * l$$

$$f_c = 0.75$$

$$j = 5.38 \frac{V_r^{1.9}}{d_c^{1.22}}$$

$$j = 1.07 \frac{mmcda}{m}$$

$$h_1 = 19.96 \text{ mmcda}$$

Perdida por accesorios (h_2)

Tenemos en este tramo de ducto una curva de 90°, dos de 60°, con una relación R/D=2 y una unión de 30°. Para determinar los coeficientes respectivos se utilizó las figuras que en el anexo D se visualiza.

$$k_{90^\circ} = 0.27$$

$$k_\theta = \frac{\theta}{90^\circ} k_{90^\circ} = \frac{60^\circ}{90^\circ} 0.27 = 0.18$$

$$k_{unión} = 0.18$$

$$\sum k = 0.27 + 2(0.18) + 0.18 = 0.81$$

$$P_D = 20.56 \text{ mmcda}$$

La pérdida por accesorios

$$h_2 = 16.65 \text{ mmcda}$$

Presión dinámica disponible ($P_{D,d}$)

Como es un tramo en el que concurren ramales y a partir de estos se consigue el caudal por este tramo, se debe calcular la presión dinámica disponible creada por los dos ramales.

$$P_{D,d} = \frac{(Q_{3-c} * P_{D,3-c}) + (Q_{4-c} * P_{D,4-c})}{Q_{3-c} + Q_{4-c}}$$

$$P_{D,d} = \frac{(0.882 * 19.75) + (0.882 * 19.75)}{0.882 + 0.882}$$

$$P_{D,d} = 19.75 \text{ mmcda}$$

Pérdida por aceleración (P_a)

La pérdida por aceleración es la diferencia entre la presión dinámica real del tramo calculada con la velocidad de transporte real y la presión dinámica disponible. Si la diferencia es mayor a cero es decir positiva esto representa el incremento de la presión dinámica extra que el ventilador nos debe entregar para que el aire acelere a la salida del nodo y alcance la velocidad real seleccionada y se debe sumar a la pérdida total de presión estática en el tramo. Caso contrario si esta diferencia es negativa quiere decir que no se necesita presión extra para acelerar el aire, no se debe sumar a la pérdida total de presión.

$$P_a = P_D - P_{D,d}$$

$$P_a = 20.56 \text{ mmcda} - 19.75 \text{ mmcda}$$

$$P_a = 0.814 \text{ mmcda}$$

Lo que quiere decir que se debe sumar a la pérdida total la pérdida por aceleración.

Pérdida por entrada en campanas de extracción (h_3)

En este tramo de ducto no tenemos campanas de extracción por lo tanto $h_3 = 0$

La pérdida total de presión estática es igual:

$$P_e = h_1 + h_2 + h_3 + h_{P,a}$$

$$P_e = 19.96 + 16.65 + 0 + 0.814$$

$$P_e = 37.42 \text{ mmcda}$$

TRAMO A-B

En este tramo concurren los tramos 1-A y 2-A por lo que el caudal estado dado por:

$$Q_{A-B} = Q_{1-A} + Q_{2-A}$$
$$Q_{A-B} = 0.448 \frac{m^3}{s} + 4.74 \frac{m^3}{s}$$
$$Q_{A-B} = 5.19 \frac{m^3}{s}$$

Calculo del diámetro de diseño (d)

$$d = 0.606 \text{ m}$$

Diámetro comercial (d_c)

$$d_c = 0.600 \text{ m}$$

Velocidad de transporte real (V_r)

$$V_r = 18.34 \frac{m}{s}$$

Perdida por fricción en tramo rectos (h_1)

$$h_1 = f_c * j * l$$

$$f_c = 0.75$$

$$j = 5.38 \frac{V_r^{1.9}}{d_c^{1.22}}$$

$$j = 0.552 \frac{mmcda}{m}$$

$$h_1 = 19.03 \text{ mmcda}$$

Estrechamiento (R_2)

En este tramo no tenemos curvas ni uniones, pero tenemos un ensanchamiento. Este ensanchamiento nos crea una de presión estática como nos muestra la figura en el anexo D.

La presión dinámica para la velocidad real en este tramo:

$$P_{D,(A-B)} = 20.56 \text{ mmcda}$$

Para calcular esta ganancia se utiliza la ecuación.

$$R_2 = R(P_{D,(1-A)} - P_{D,(A-B)})$$

$$R_2 = 0.23(18.96 - 20.56)$$

$$R_2 = -0.37 \text{ mmcda}$$

Lo que quiere decir que nos crea una pérdida de 0.37 mmcda al cambiar la velocidad del tramo 1-a de 17.8 m/s hasta la velocidad del tramo 1-A de 18.34 m/s.

Presión dinámica disponible ($P_{D,d}$)

$$P_{D,d} = \frac{(Q_{1-A} * P_{D,1-A}) + (Q_{2-A} * P_{D,2-A})}{Q_{1-A} + Q_{2-A}}$$

$$P_{D,d} = \frac{(0.448 * 18.96) + (4.74 * 30.42)}{0.448 + 4.74}$$

$$P_{D,d} = 29.43 \text{ mmcda}$$

Pérdida por aceleración (P_a)

$$P_a = P_D - P_{D,d}$$

$$P_a = 20.56 \text{ mmcda} - 29.43 \text{ mmcda}$$

$$P_a = -8.87 \text{ mmcda}$$

Lo que quiere decir que no debemos sumar a la pérdida total la pérdida por aceleración.

Perdida por entrada en campanas de extracción (h_3)

En este tramo de ducto no tenemos campanas de extracción por lo tanto $h_3 = 0$

La pérdida total de presión estática es igual:

$$P_e = h_1 + R_2 + h_3 + h_{p,a}$$

$$P_e = 19.03 + 0.37 + 0 + 0$$

$$P_e = 19.40 \text{ mmcda}$$

Se verifica el equilibrio en el nodo B. Donde debe cumplir que:

$$P_{e\ 3-C} + P_{e\ C-B} = P_{e\ 1-A} + P_{e\ A-B}$$

La suma de pérdidas de presión estática de dos tramos se llama pérdida de presión estática acumulada.

Se calculó el porcentaje de error existente entre los dos términos de la igualdad.

$$P_{e\ 3-C} + P_{e\ C-B} = 69.10 \text{ mmcda}$$

$$P_{e\ 1-A} + P_{e\ A-B} = 97.15\ \text{mmcda}$$

$$\%Error_{P_e} = \frac{|P_{e_{mayor}} - P_{e_{menor}}|}{P_{e_{mayor}}} * 100$$

$$\%Error_{P_e} = \frac{|97.15 - 69.10|}{97.15} * 100$$

$$\%Error_{P_e} = 28.87\ \% \geq 20\ \%$$

El sistema no se encuentra equilibrado en el nodo B, por lo tanto, se debe cambiar el diámetro en el tramo que comprende 3-C y C-B. De estos dos tramos el único que se puede modificar es C-B. El tramo C-B será el modificado disminuyendo su diámetro para aumentar la velocidad. Como primera iteración tomo como diámetro el siguiente:

$$d_{nuevo\ o\ diseño} = (0.350) \left(\frac{69.10}{97.15} \right)^{\left(\frac{1}{45} \right)} \quad [m]$$

$$d_{nuevo\ o\ diseño} = 0.347\ m$$

Con este diámetro recalculamos el tramo C-B de la misma forma antes realiza. Obteniendo una pérdida de presión estática total acumulada de 75.26 mmcda con un diámetro comercial de 340 mm, tomamos ahora un diámetro comercial de 320mm. Con este valor obtenemos una pérdida de presión estática total acumulada igual a 94.4 mmcda. Quedando la perdida de presión de la siguiente manera en los tramos.

$$P_{e\ 3-C} + P_{e\ C-B} = 94.40\ \text{mmcda}$$

$$P_{e\ 1-A} + P_{e\ A-B} = 97.15\ \text{mmcda}$$

$$\%Error_{P_e} = \frac{|P_{e_{mayor}} - P_{e_{menor}}|}{P_{e_{mayor}}} * 100$$

$$\%Error_{P_e} = \frac{|97.15 - 94.40|}{97.15} * 100$$

$$\%Error_{P_e} = 2.83\ \% \leq 5\ \%$$

Como el porcentaje de error es menor que 5% se garantiza el equilibrio en el nodo B.

Los tramos siguientes se calculan de manera similar, llegando hasta el tramo antes del ventilador con la pérdida de presión estática acumulada total. El equilibrio total del sistema en cada nodo nos arroja los siguientes resultados que la tabla 6-3 nos muestra.

Tabla 6-3: Diámetro de tramos de ductos y velocidades de transporte real del sistema.

I.D	L (m)	\varnothing_i (mm)	e (mm)	P_e (mmcda)	$P_{e.ac}$ (mmcda)	P_D (mmcda)
1-A	26	180	10	-77.75	-	18.96
2-A	24	520	15	-73.88	-	30.42
A-B	46	600	15	-19.40	-97.15	20.56
3-C	3.0	250	10	-31.67	-	19.75
4-C	3.0	250	10	-31.67	-	19.75
C-B	25	320	12.5	-62.73	-94.40	29.42
B-D	5.0	700	20	-1.09	-95.48	19.94
5-D	12	140	10	-98.67	-	32.90
D-E	4.0	720	20	-1.19	-96.67	19.69
6-E	28	280	15	-93.75	-	28.88
E-F	85	780	25	-35.36	-129.11	20.01
G-H	6.0	780	25	-12.52	-141.62	20.01
J-I	5.0	780	25	7.43	-	20.01

Realizado por: David Pilamunga, 2018.

Realizado por: David Pilamunga

P_e = Pérdida de presión estática en el tramo

$P_{e.ac}$ = Pérdida de presión estática acumulada

P_D = Presión dinámica

\varnothing_i = diámetro interno

La caída de presión total a lo largo de la red de tuberías, es:

$$\Delta P = P_{E.s} - P_{E.e} \text{ [mmcda]}$$

Donde:

$P_{E.s}$ = Pérdida de presión estática a la salida del ventilador [mmcda]

$P_{E.e}$ = Pérdida de presión estática acumulada a la entrada del ventilador [mmcda]

$$\Delta P = 7.43 - (-141.62)$$

$$\Delta P = 149 \text{ mmcda}$$

3.1.3 Diseño de colector de polvo

En el capítulo 2 se optó por un colector de polvo tipo filtro de mangas con sistema de limpieza pulse-jet. Este colector de polvo está compuesto por tres partes principales: la sección de aire limpio en la parte superior, la cámara de filtrada contendedora de los filtros de mangas, y una tolva en la parte inferior para almacenar el polvo filtrado.

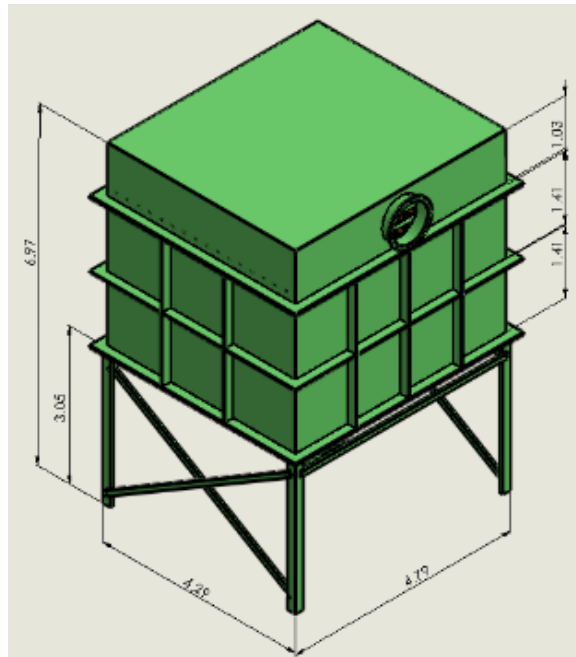


Figura 13-3: Estructura externa del colector de polvo tipo mangas.

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

3.1.3.1 Dimensionamiento de mangas

El conjunto de manga y canastilla a utilizar son tipo cilíndricas ya que son las más utilizadas en la industria. Es aconsejable utilizar mangas con longitudes máximas de 100 pulgadas, ya que longitudes mayores pueden causar dificultades en el momento de limpieza de estas mangas. Se recomienda cumplir la siguiente relación para evitar el problema antes descrito (Orrala, 2010, p.100).

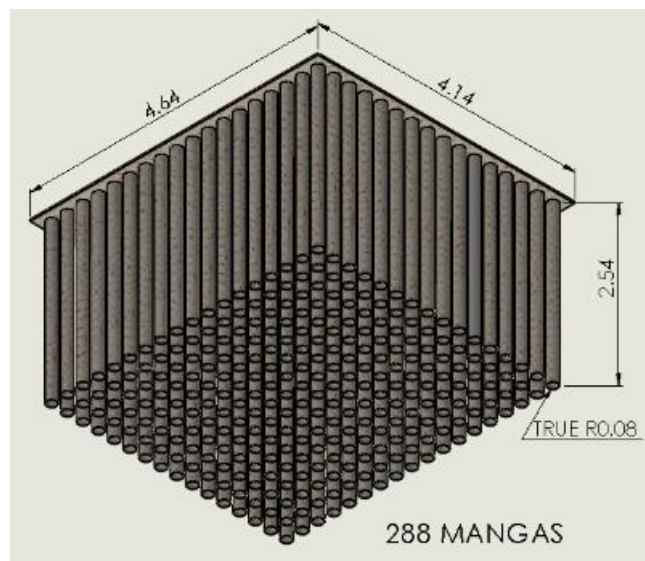


Figura 14-3: Filtro de mangas

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

$$\frac{L_m}{D_m} \leq 25$$

Selecciono una longitud de 100 pulgadas y diámetro de 6 pulgadas como primera iteración, para dar cumplimiento a esta recomendación.

$$\frac{100}{6} = 16.67 \leq 25 \text{ cumple}$$

3.1.3.2 Velocidad de filtración (Relación aire/tela)

Es importante determinar la correcta velocidad de filtración que producirá el equilibrio entre la caída de presión (caída de presión alta costos de operación aumentan) y el tamaño del contenedor de los filtros de mangas o llamado Baghouse. Seleccionamos el tipo de tela tejida ya que esta es la más utilizada en la práctica.

Fabricantes han desarrollado ecuaciones que permiten determinar la velocidad de filtración:

$$\frac{A}{T} = V_f = \frac{Q}{A_T}$$

Donde:

Q= Caudal de diseño del colector [m^3/min]

A_T = Área total del filtrante [m^2]

Para el cálculo del área total se utilizará la siguiente ecuación:

$$A_T = \pi \cdot C_m \cdot D_m \cdot L_m$$

Donde:

C_m =Cantidad de mangas en el filtro

D_m = Diámetro de las mangas [m]

L_m = Longitud de las mangas [m]

Selecciono 280 de mangas, con diámetro de 6 pulgadas y longitud de 100 pulgadas. Con estos valores calculamos el área total.

$$A_T = \pi(280)(6)(100)$$

$$A_T = 527787.56 \text{ plg}^2 = 340.5m^2$$

El caudal que pasa a través del colector es:

$$Q = 8,70 \frac{m^3}{s} = 522 \frac{m^3}{min}$$

$$V_f = \frac{522}{340.5}$$

$$V_f = 1.53 \text{ m/min}$$

Cumple el rango de velocidad que recomienda la tabla 8-4

Tabla 7-3: Relación de aire / tela recomendadas

Tipo de limpieza del colector	Velocidad filtración (m/min)
Sacudido	0.76-0.91
Aire reverso	0.61-0.76
Pulse – Jet	1.52-1.83

Fuente: Orrala, 2010, p.83

3.1.3.3 Número de mangas por columna

Se recomienda el uso de 16 mangas por columna como máximo, un valor mayor este causara una perdida excesiva afectando a la limpieza.

El área de una manga está dada por:

$$A = (\pi \cdot D_m \cdot L_m) + (\pi \cdot \frac{D_m^2}{4})$$

$$A = (\pi)(6)(100) + (\pi)(\frac{6^2}{4})$$

$$A = 1913.23 \text{ plg}^2 = 1.23 \text{ m}^2$$

El número de mangas se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\#Mangas = \frac{A_T}{A}$$

$$\#Mangas = \frac{340.5}{1.23}$$

$$\#Mangas = 276.82$$

Se tomará 288 mangas, con un arreglo de 18 filas y 16 columnas. Quedando de la siguiente manera las características del colector tipo filtro de mangas.

Diámetro de las mangas = 6 plg
Longitud de la manga= 100 plg
Área total del filtrante= 350.24 m²
Arreglo 18x16= 288 mangas

3.1.3.4 *Tolva de descarga*

En esta parte del equipo se deposita las partículas de polvo filtradas que no logran pasar los filtros, en la parte inferior de la tolva se ubica una válvula que ayuda a la descarga del material partícula. Tiene la función de evitar que ingrese flujo de aire indeseado por la parte inferior de la tolva. Una recomendación para evitar que el polvo se aglomere en las paredes redondear las esquinas de la tolva a un ángulo no menor de 55°.

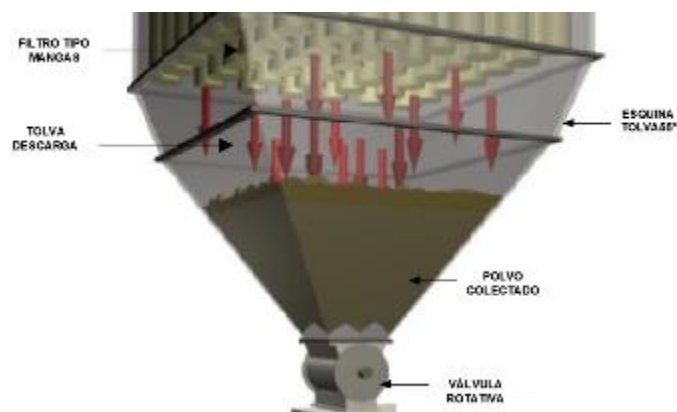


Figura 15-3: Diseño recomendado de la tolva.

Fuente: Orrala, 2010, p.91

Una recomendación para el diseño es como se muestra en la figura 15-3 con la válvula al fondo de la tolva que controle la salida del polvo. Las válvulas utilizadas en esta aplicación comúnmente son rotativas.

3.1.3.5 *Sistema de limpieza pulse-jet*

La limpieza de las mangas por medio del sistema pulse-jet trabaja con un sensor de presión que da la señal a las válvulas permitiendo el paso del aire comprimido hasta llegar a los inyectores. Es necesario conocer las características de las válvulas solenoides requeridas, para ello nos guiamos en el catálogo ASCO EXPRESS que el anexo F nos muestra. Para ello el fabricante recomienda una presión diferencia 125 psi y diámetro de conexión de ½ plg para limpieza de mangas (Nivelo y Ugalde, 2011, p. 112). Con estos datos seleccionamos una válvula normalmente cerrada con dos vías para servicios generales de transporte de aire. Las características generales de este tipo de válvula son las siguientes:

- Modelo: 8210G015
- Diámetro de conexión ½ plg
- Diámetro de salida del aire: 7/16 plg
- Factor de flujo (CV): 4
- Temperatura máxima del aire: 180 °F



Figura 16-3: Válvula solenoide de acero inoxidable

Fuente: (Altec, 2018)

El número de válvulas a instalar son 16, esto nos ayudara a limpiar las 288 mangas. Con la selección de la válvula es importante hallar la capacidad del tanque contenedor de aire comprimido. Para ello se calcula el caudal que paso por cada válvula.

$$Q_v = 981 * C_v$$

$$Q_v = 3924 \frac{l}{min}$$

El tiempo de apertura de la válvula para la limpieza de 16 válvulas por pulso de aire es 500 milisegundos. Por lo tanto, el volumen del tanque es:

$$V = Q_v * t$$

$$V = (3924) * \left(\frac{0.500}{60}\right)$$

$$V = 32.7 \text{ litros}$$

El compresor a instalar para suministrar el aire a las mangas para su limpieza es: Compresor de pistones de 35 litros capacidad mínima y presión de 125 psi.

3.1.3.6 Pérdidas de carga en el filtro de mangas

Para determinar correctamente la caída total de presión en el sistema, se debe incluir la caída de presión que nos provocará el colector de filtro de mangas. Mediante la siguiente ecuación podremos determinarla. Ecuación 9.

$$\Delta P = 6.08V_f P_j^{-0.65} + K_2 V_f^2 \left(\frac{C_i}{7000} \right) t$$

Donde:

ΔP =Caída de presión total en el colector plgH2O

V_f =Velocidad de filtración o relación gas/tela

$$V_f = 1.53 \text{ m/min} = 5.02 \text{ ft/min}$$

K_2 =Coeficiente de resistencia del polvo

$K_2 = 1.2$ este valor se obtiene experimentalmente

C_i =Concentración de polvo en la entrada

$$C_i = 4944 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = 0.14 \frac{\text{g}}{\text{ft}^3}$$

t = Tiempo de filtración en minutos

Nos asumimos $t = 5$ minutos

P_j =Presión del chorro pulsante

Está en el rango de 415 – 830 KPa

Tomamos $P_j = 552 \text{ KPa} = 80.06 \text{ psi}$

Remplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$\Delta P = 6.08(5.02)(80.06)^{-0.65} + (1.2)(5.02)^2 \left(\frac{0.14}{7000} \right) (5)$$

$$\Delta P = 1.77 + 0.03 = 1.80 \text{ in H}_2\text{O} = 45.7 \text{ mmcda}$$

La caída de presión en el sistema finalmente queda de la siguiente manera:

$$\Delta P_t = 149 \text{ mmcda} + 45.7 \text{ mmcda}$$

$$\Delta P_t = 194.69 \text{ mmcda}$$

3.1.4 Selección del ventilador

El tipo de ventilador para el transporte de aire polvoriento o aire limpio más utilizado y recomendado es el ventilador centrífugo con aletas de espesor constante curvadas hacia atrás. Este tipo de ventilador es el ventilador con mayor velocidad periférica, el de mayor rendimiento, con un nivel sonoro relativamente bajo. La selección del ventilador se lleva a cabo con la determinación de sus características como: número de revoluciones, tamaño, potencia que entrega a su eje, rendimiento, transmisión de movimiento, el ruido (Goberna, 1992, capítulo 6, p.2)

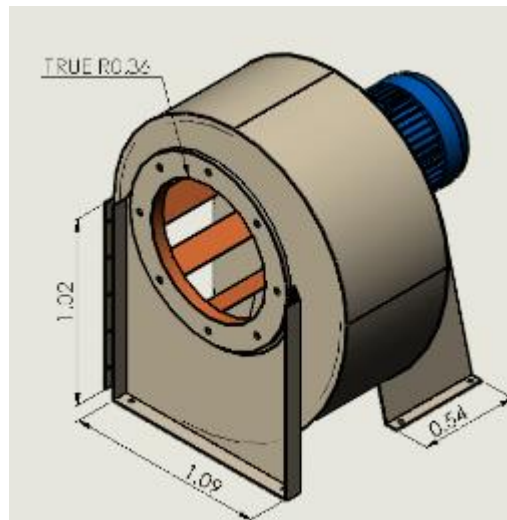


Figura 17-3: Ventilador centrífugo

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

Las características que debe cumplir el ventilador son:

- Tipo centrífugo
- Alabes de espesor constante curvadas hacia atrás
- Trabajo con aire limpio
- Caída de presión = 194.7 mmca= 1909.35 Pa
- Caudal= $8.70 \frac{m^3}{s}$
- Eficiencia mecánica = alrededor 70%

Para el selecciona miento correcto del ventilador, debe cumplir las características principales que son el caudal y la caída de presión. Estas dos especificaciones lo se ve involucrado en la potencia del ventilador que a continuación la calcularemos.

$$Pot = \frac{Q\Delta P}{\eta}$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

ΔP = Caída de presión [Pa]

η = Eficiencia

$$Pot = \frac{(8.70)(1909.35)}{0.7}$$

$$Pot = 23730.5 \text{ W} = 23.73 \text{ KW} = 31.82 \text{ hp}$$

Donde esta potencia viene a representar la potencia mínima necesaria para absorber el contaminante en todas las zonas de generación. Mediante los catálogos del proveedor SODECA del anexo E, se ha seleccionado el ventilador con las siguientes especificaciones que más se acercan a lo necesario.

Características del ventilador seleccionado:

- Modelo: CMRS-900-4T-50 IE
- Material: Acero inoxidable
- Potencia eléctrica: 33.02 KW
- Caudal: 34349 m³/h
- Perdida: 254.74 mmca
- Velocidad del rodete: 1483 rpm
- Eficiencia 72.2 %

3.2 Simulación del equipo colector de polvo tipo mangas

3.2.1 Software ANSYS

Los programas como ABAQUS, COSMOS, PATRAN, NASTRAN, STRUDL, CAEPIPE, y ANSYS se basan en el análisis de métodos finitos que permiten obtener soluciones aproximadas de problemas. Estos problemas son representados mediante ecuaciones diferenciales estos programas utilizados en ingeniería resuelven las ecuaciones diferenciales que describen el fenómeno a estudiar, permitiendo obtener productos de alta calidad a un menor costo, anticipar fallos en los elementos analizados y simular el comportamiento de fluidos (Orrala, 2010, p.104).

La simulación del colector de polvo se realizará mediante el software especializado ANSYS, siendo una herramienta versátil y contiene paquetes para la simulación de fluidos. Ansys como se menciono es un conjunto del sistema de programas CAE (ingeniería asistida por computador) para diseño, análisis y simulación de partes por elementos finitos. Este programa ejecuta análisis de piezas sometidas a fenómenos físicos usadas en ingeniería, puede resolver problemas físicos

sometidos a esfuerzos térmicos, fluidos, vibración y aplicaciones específicas. Los módulos principales se clasifican de acuerdo a su disciplina (3D CAD Portal, 2019).

El módulo Análisis de fluidos dinámicos utilizado en esta simulación consta de aplicaciones como: ANSYS CFX, Fluent, Icepak, Polyflow (3D CAD Portal, 2019). Ansys CFX y Fluent son los programas más cuando se necesita la simulación y análisis de fluidos, ansys cfx es utilizado para problemas de fluidos, tiene herramientas de modelado, mallado y simulación en una interface moderna que da cabida a una amplia gama de resolución de problemas. Ansys CFX se integra con la plataforma Ansys Workbench de forma bi-direccional para compartir información de modelado y mallas. (3D CAD Portal, 2019).

El proceso para realizar el análisis o simulación en la aplicación ansys cfx es el siguiente:

CFX-Pre: En esta etapa se define el problema a resolver, estableciendo condiciones de contorno, tipo de fluido, tipo de ecuaciones, etc.

CFX-Solver: una vez definido los parámetros de simulación, ejecutamos el solucionador. Donde resuelve todas las ecuaciones diferenciales creadas por el programó.

CFX-Post: Representa los resultados obtenidos en el proceso anterior.

3.2.2 CFX-Pre Proceso

Debido que no se cuenta con una computadora profesional avanzada con características especiales. Como mayor capacidad de memoria y velocidad de cálculo, se reduce el número de mangas de 288 de nuestro proyecto a 20 mangas, intentando mantener la misma sección y volumen de las mangas.

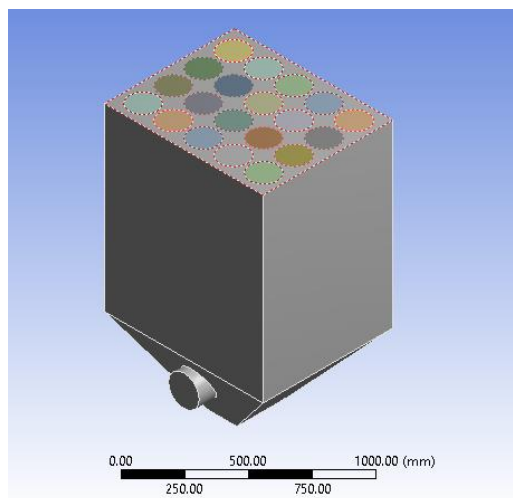


Figura 18-3: Geometría del colector de polvo con filtro de mangas.

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

Una vez importada la geometría, se crea las regiones a partir de las caras del solido de la geometría como es la tolva de descarga, la cámara de filtrado y mangas. Las regiones a crearse antes del mallado son posteriormente las condiciones de frontera tales como la entrada de material particulado, salida del polvo cerámico y la salida del aire a la atmosfera.

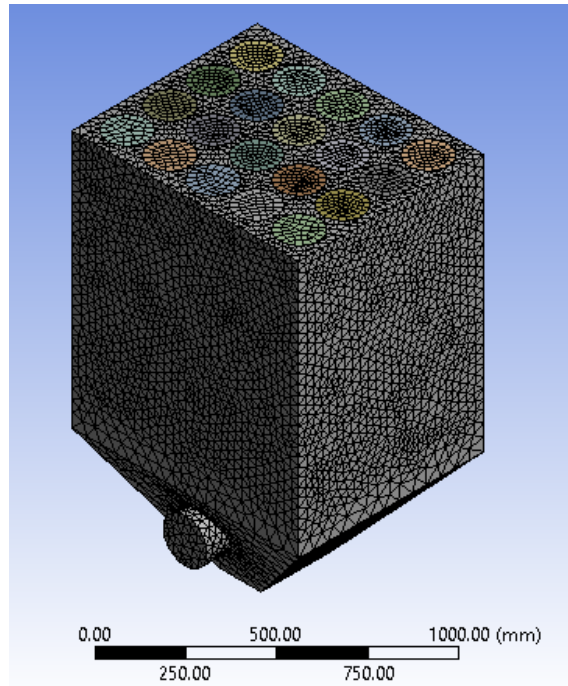


Figura 19-3: Mallado de la Geometría del colector de polvo

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

Tabla 8-3: Resumen estadístico del mallado

Domain	Nodes	Elements
Mangas	13818	50944
Parte Inferior	24886	115342
All Domains	38704	166286

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

La base de datos almacena el dominio físico de los materiales, en la biblioteca del software no existe el polvo cerámico, por lo que se procede a crear un nuevo material, introduciendo propiedades físicas y químicas del material.

La base de datos almacena los valores de las condiciones de contorno, las cuales se detallan a continuación en la tabla 9-3. El ventilador es el encargado de definir por medio de la succión el flujo de entrada, que está dada por la recolección de polvo.

Tabla 9-3: Detalle de los datos de contorno.

Domain	Name	Type	Settings
Mangas	Salida Aire	Outlet	Flow Regime = Subsonic Mass And Momentum = Average Static Pressure Relative Pressure = 0 [kPa] Pressure Averaging = Average Over Whole Outlet
Parte Inferior	Entrada Material Particulado	Inlet	Flow Regime = Subsonic Normal Speed = 18 [m s ⁻¹] Caliza Maximum Diameter = 50 [micron] Caliza Minimum Diameter = 2 [micron] Caliza Mass Flow Rate = 12.3 [kg s ⁻¹]
Parte Inferior	Salida Caliza	Opening	Flow Regime = Subsonic Mass And Momentum = Opening Pressure and Direction Relative Pressure = 2.8 [kPa] Turbulence = Zero Gradient Caliza Normal Speed = 0.30 [m s ⁻¹] Caliza Maximum Diameter = 50 [micron]

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

A continuación, se muestra el colector de polvo después de ingresar las condiciones de frontera y dominio físico.

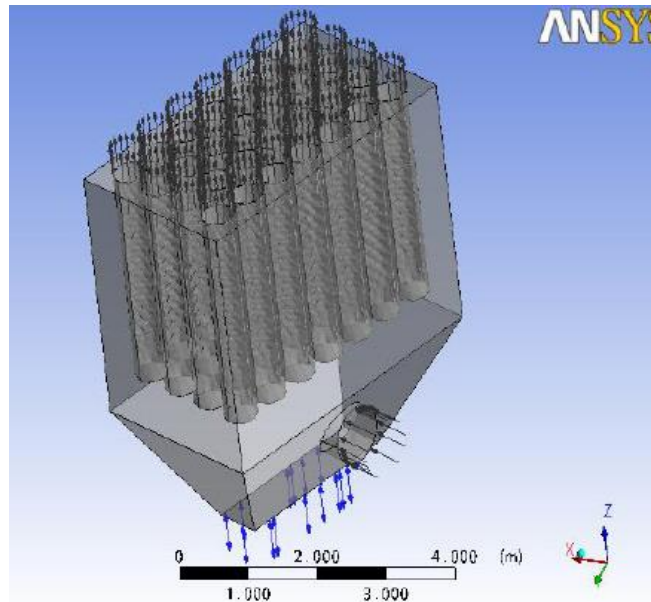


Figura 20-3: Condiciones de frontera en el colector.

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

3.2.3 CFX-Solver Proceso

Se encarga de resolver matemáticamente el comportamiento del flujo en el interior y salida del filtro, con los datos ingresados mediante la aplicación de los principios de conservación de

momento y masa de cada volumen de control, un conjunto de ecuaciones de volúmenes finitos se forman proporcionar calores nodales de la velocidad, presión, concentración, etc.

3.2.4 CFX-Post Proceso

El software tiene la capacidad de visualizar los resultados por colores en objetivos gráficos, el uso de herramientas de cálculo. Para visualizar los resultados se puede crear planos, vectores, líneas de flujo, etc., de cualquier variable que se desee observar y conocer.

El objetivo de la simulación es constatar que la salida del flujo de aire se realiza por la parte superior como se observa en la figura 21-3.

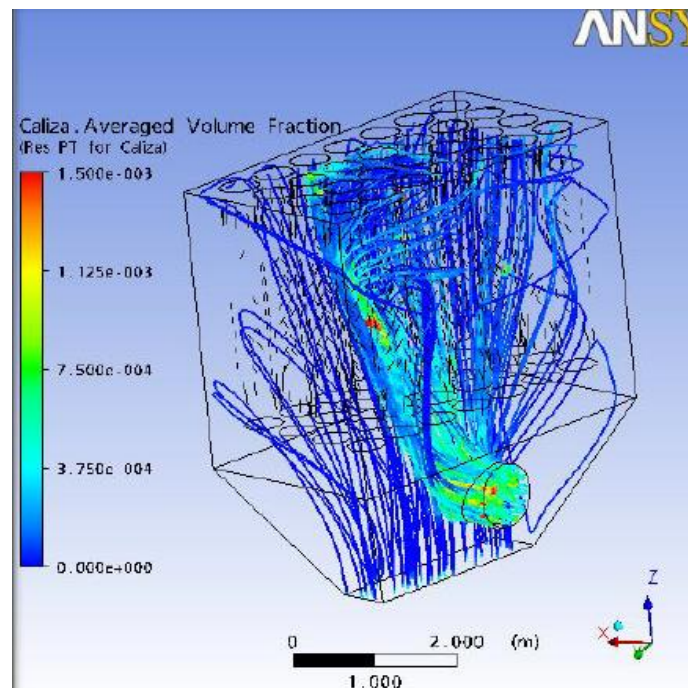


Figura 21-3: Trayectoria de las líneas de flujo del aire.

Fuente: David Pilamunga, 2018

Realizado por: David Pilamunga

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Análisis de precios unitarios y presupuesto.

El presupuesto de un proyecto u obra se basa en la determinación previa de la cantidad de dinero necesaria para ejecutarla. Realizar un presupuesto aproximado de una obra se lleva a cabo cuando se necesita determinar si el costo de la obra guarda relación con los beneficios que de ella se espera obtener, o bien si las disponibilidades existentes bastan para la ejecución.

Caso contrario, el presupuesto aproximado no basta cuando el constructor la estudia para preparar su proposición, entonces se detalla mucho, tomando en cuenta no solo el precio de materiales y mano de obra, sino también las circunstancias especiales en la que se haya de realizar la obra (Chimbo y Ortiz, 2012, p.153).

Para determinar el costo total que genera la instalación del proyecto, se optó el criterio de agrupar los costos en dos grupos: Costos directos e indirectos. El presupuesto que se detalla muestra precios unitarios referenciados a la Cámara de Construcción de Quito (2019).

4.1.1 *Costos directos.*

Son aquellos costos de los recursos consumidos y relacionados directamente en con las actividades del proyecto, estos costos incluyen: costos por materiales, mano de obra, equipos – herramientas y transporte (HMD Project Managers, 2017).

4.1.1.1 *Costos de materiales.*

Es la representación de costos de materiales y equipos que serán instalados y permanecerán en la obra; el tipo de material, cantidad y volumen necesario para la implementación de este proyecto se obtiene previamente de las especificaciones técnicas (Chimbo y Ortiz, 2012, p.154).

El tipo de material, cantidad y equipos requeridos en el sistema de extracción se dividen en tres grupos; costos de materiales del sistema de conducción, sistema de filtrado y sistema de extracción. A continuación, se detalla el costo unitario de cada elemento del sistema de absorción, dividiéndose de acuerdo en sistema de conducción, sistema de filtro y extracción.

Tabla 1-4: Costos de materiales para sistema de conducción

EQUIPO DE CAPTURA				
Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Plancha de acero galvanizado 2.44x1.22 m espesor 2.8 mm	u	17	25.84	439.28
TUBERIAS				
PVC 140mm x 6m	u	2	58.59	58.59
PVC 160mm x 6m	u	5	64.68	323.4
PVC 250mm x 6m	u	6	120	720
PVC 335mm x 6m	u	5	177	885
PVC 500mm x 6m	u	4	416	1664
PVC 575mm x 6m	u	8	508	4064
PVC 690mm x 6m	u	2	633	1266
PVC 790mm x 6m	u	16	724	11584
ACCESORIOS				
Codo 90°, 45° y 60°	u	1	654	654
			TOTAL	21218.99

Fuente: David Pilamunga, 2018.

Realizado por: David Pilamunga

Tabla 2-4: Costos de materiales para sistema de filtrado y extracción

COLECTOR DE POLVO TIPO MANGAS				
Elemento	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Cuerpo colector	u	1	720	720
Manga-Canastilla	u	288	50	14400
Tolva descarga	u	1	250	250
Tapa superior	u	1	320	320
COMPLEMENTOS				
Válvula solenoide ½ plg	u	16	95	1520
Compresor 35 litros-100 psi	u	1	650	650
EXTRACCIÓN				
Ventilador centrifugo y motor eléctrico 32 KW	u	11	12320	12320
			TOTAL	30210

Fuente: David Pilamunga, 2109

Realizado por: David Pilamunga

4.1.1.2 Costos de mano de obra.

Es un problema dinámico la estimación del costo de mano de obra, este carácter dinámico lo determina el costo de vida, su complejidad varia conforme a la dificultad o facilidad de ejecución, la magnitud del proyecto, las relaciones laborables, etc. En la construcción este elemento básico representa en cifras estadísticas oficial de un 28% a 40% del gasto total, tomándose un porcentaje medio de 35%. La empresa Ecuacerámica dispone de profesionales y técnicos capacitados para realizar el trabajo de instalación del sistema de extracción. Por lo que no será necesario el contratar el 100% de mano obra requerida. Los salarios fueron tomados de la contraloría general del estado (Chimbo y Ortiz, 2012, pp. 155,156).

Tabla 3-4: Costos de mano de obra

DESCRIPCIÓN	SAL.REALxHORA	HORA-HOMBRE	COSTO TOTAL
Inspector de obra	2.71	148.00	401.08
Mecánico de equipo liviano	2.59	124.00	321.16
Soldador eléctrico	2.58	40.00	103.2
Técnico mecánico-electricista	2.58	120.00	309.6
Ayudante de mecánica	2.56	80.00	204.8
TOTAL			1339.84

Fuente: David Pilamunga, 2019.

Realizado por: David Pilamunga

4.1.1.3 Costos de transporte.

Son los costos que se generan al trasportar el material y equipos del proyecto varían de acuerdo a lo localización de instalación del sistema y el sitio del proveedor. Comúnmente se considera el 5% del costo total del equipo (Chimbo y Ortiz, 2012, p. 156).

Tabla 4-4: Costos de transporte de materia y equipos.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO TRASP	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Sistema de captura	u	21.96	1	21.96
Sistema de Tuberías	u	1038.99	1	1038.99
Colector de polvo tipo mangas	u	893	1	893
Ventilador centrifugo y motor eléctrico 32 KW	u	616	1	616
TOTAL				2569.95

Fuente: David Pilamunga, 2109

Realizado por: David Pilamunga

4.1.2 Costos indirectos

Corresponde a los gastos necesarios para la ejecución de los trabajos no incluidos en los costos directos, y comprende entre otros: los gastos de administración, dirección, organización, vigilancia, dirección técnica, supervisión e imprevistos. Representa como un porcentaje del costo directo de cada trabajo (Chimbo y Ortiz, 2012, p. 157).

Tabla 5-4: Costos indirectos

DESCRIPCIÓN	COSTO	PORCENTAJE (%)
Dirección de obra	1660.16	3
Administrativos	1106.78	2
Garantías	1106.78	2
Vehículos	1106.78	2
Seguros	1106.78	2
Prevención de riesgos	1106.78	2
Fiscalización	2766,94	5
Imprevistos	1106.78	2
Costo de ingeniería	5533.88	10
TOTAL	16601.66	

Fuente: David Pilamunga, 2109

Realizado por: David Pilamunga

4.1.3 Costo total del proyecto.

A continuación, se presenta el costo total de la implementación del sistema de extracción de polvo en la empresa. Resulta de sumar todos los costos antes mencionados.

Tabla 6-4: Costo total del sistema de extracción de polvo.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO TOTAL
Materiales del sistema de conducción	u	21218.99
Sistema de filtrado y extracción	u	30210
Mano de obra	u	1339.84
Transporte de materia y equipos	u	2569.95
Costos indirectos	u	16601.66
TOTAL		71940.44

Fuente: David Pilamunga, 2109

Realizado por: David Pilamunga

Se acuerdo a proyectos ejecutados semejantes al propuesto se estableció el tiempo de plazo total de 15 días. Se observa que la instalación del sistema de extracción requiere un presupuesto de 71940.44 dólares.

4.2 Conclusiones

La selección de la tecnología de filtración del polvo y su colección fue discutida entre las más utilizadas en el ámbito Industrial. Se obtuvo como equipo de depuración a un recolector de polvo tipo mangas, ya que estas pueden llegar a eficiencias del 90% de filtración y la valoración costo – eficiencia llego a ser la más conveniente para nuestro proyecto.

Los diferentes componentes del sistema de extracción localizada fueron diseñados bajo la norma internacional recomendada ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) y el Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales de Goberna Ricardo. La selección del ventilador centrífugo se realizó mediante el catalogo SODECA y para las válvulas solenoides el catálogo ASCO EXPRESS.

El diseño de campanas de extracción y ductos se han diseñado con la finalidad de obtener una eficiencia optima, con velocidades de captura y transporte recomendadas en el Manual de Ventilación Industrial ACGIH. DE esta manera se asegura que la campana capture la cantidad deseada de polvo/aire, y evitar la sedimentación en los tramos de ductos.

La potencia del motor acoplado al ventilador centrífugo es de 23.73 kW como mínimo, con la ayuda del catálogo SODECA se optó por seleccionar un ventilador centrífugo con una potencia de 33.02 kW.

El material de las campanas es acero inoxidable de 2.8 mm de espesor y para la tubería de trasporte se optó por material PVC cédula 40. Estos materiales son tomados de acuerdo a lo descrito en el Manual de ventilación con la finalidad que su instalación sea fácil, segura y conveniente.

Se ha utilizado el software SOLIDWORKS para esquematizar el modelo propuesto en 2D y 3D, así como los planos con las especificaciones técnicas de cada componente del sistema.

El software ANSYS CFX simulo las líneas de flujo de aire en el colector de polvo, mostrando cual es el trayecto que toma aire al ingresar y salir del colector. Garantizando que el aire pase

atreves de las mangas y salga por la parte superior del mismo. Comprobando la funcionalidad principal del colector.

El presupuesto necesario para ejecutar el proyecto se obtuvo del análisis de costos unitarios, detallando cada rubro involucrado. Para el costo de mano de obra se tomó los salarios mínimos por ley que emite la contraloría general del estado. Los precios unitarios de los materiales fueron referenciados a la Cámara de Construcción de Quito facilitándonos precios de cotizaciones de varios fabricantes tanto del Ecuador como del extranjero. El costo total de la instalación del sistema de extracción de polvo es 71940. 44 dólares.

4.3 Recomendaciones

Se debe realizar una evaluación del polvo personal, es decir el tamaño dinámico de partículas PM 10 y PM 2.5 posterior a la instalación del sistema de extracción de polvo, con la finalidad de obtener los valores de concentración del contaminante en el aire en las zonas estudiadas en este trabajo. Estos valores deben ser comparados con los máximos permisibles evidenciando la disminución de la dispersión de polvo personal mediante la recolección del polvo ambiental.

Para la instalación de los ductos se debe proporcionar soportes cada 3 metros, con la finalidad de garantizar un anclaje seguro de los ductos a las paredes.

La recolección del polvo filtrado en la tolva del colector de magas se debe realizar periódicamente, para evitar problemas de estancamiento o aglomeración del equipo. Es importante mantener la sección de descarga de polvo de la tolva cerrada ya que puede ingresar cantidades de aire no deseados y perjudica el funcionamiento de filtración de las mangas.

La verificación del estado de los equipos después de estar funcionando es importante para controlar el buen funcionamiento y rendimiento del sistema. Esto se lleva a cabo siguiendo las acciones recomendadas en los manuales de mantenimiento de los equipos proporcionados por los fabricantes.

El diseño del sistema de tuberías se debe realizar con una configuración creciente de diámetros de ductos, comenzando en los puntos de extracción con ramales y estos uniéndose a un tramo de tubería central de mayor diámetro. Esto ayudara a un equilibrio de caudales más eficiente.

El equilibrio de pérdida presión estática por diseño favorece a la implementación de más tomas de extracción si en el futuro se decide implementar. Se recomienda la implementación de esto

en el tramo que conecta la campana número 6 hasta llegar al colector de polvo, ya que este se puede sacar mayor beneficio. Por lo que se debe ubicar el colector lo más cercano a las fuentes generadoras de polvo para evitar el incremento de pérdidas de carga y a su vez un incremento en la energía necesaria para vencerla.

BIBLIOGRAFÍA

ALTEC. *Selección de una válvula solenoide* [En línea]. 2018. [Consulta: 08 de enero del 2019]. Disponible en: <https://www.altecdust.com/blog/item/34-seleccion-de-una-valvula-solenoide>

ASCO XPRESS. *Fluid Automation Right Now* [En línea]. 2016. Válvulas dos vías normalmente cerradas. [Consulta: 08 de enero del 2019]. Disponible en: <https://www.asco.com/ASCO%20Asset%20Library/asco-express-program-mx.pdf>

Arciniegas Suarez, Cesar Augusto. *Diagnóstico y control de material particulado: Partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10* [en línea]. Manizales – Colombia: 2011. P.196. [Consulta: 9 de noviembre del 2018]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>

BARRERO ROBALINO, Johnny Patricio. Optimización del proceso de atomización en la producción de azulejos (Tesis)(Ingeniería). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba – Ecuador. 2009. p.13. [Consulta: 2017-12-12]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/241/1/96T00108.pdf>

BARRIOS SAIRA, Milton German. Optimización de los sistemas de control de un molino de bolas (Tesis)(Ingeniería). [En línea] Universidad Nacional de San Agustín, Producción y Servicios, Ingeniería Electrónica. Arequipa – Perú. 2015. [Consulta: 2017-12-12]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3153/IEbasamg.pdf?sequence=1>

CÁMARA DE CONSTRUCCIÓN DE QUITO. Lista de precios y materiales de construcción [En línea]. Ecuador. 2019. [Consulta: 09 de enero del 2018]. Disponible en: <http://www.camicon.ec/documentacion/>

CASTILLO VALLADARES, Nathaly Ivonne. *Información general Ecuacerámica* [En línea]. 2011. [Consulta: 10 de enero del 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/52503255/INFORMACION-GENERAL-ECUACERAMICA>

CHIMBO PERÉZ, Lorena Beatriz, & ORTIZ CABEZAS, Leandro Rafael. Diseño de un Sistema de Extracción Localizada de Gases y Polvos de Proceso de Reconstrucción Mecánica de Turbinas Hidráulicas y su Manejo para el Control de Impacto Ambiental (Hidroagoyan) [En línea] (Tesis)(Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica. Riobamba, Ecuador.2012. p.13[Consulta: 16-11-2018]. Disponible: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2347/1/15T00510.pdf>

CONSTRUMÁTICA. *Proceso de fabricación de baldosas cerámicas* [en línea]. Barcelona: 2013. Molturación por vía húmeda y secado de la composición por atomizado, tercer párrafo. [Consulta: 6 de noviembre del 2018]. Disponible: https://www.construmatica.com/construpedia/Proceso_de_Fabricaci%C3%B3n_de_Baldosas_Cer%C3%A1micas

Di Guiseppe, A, & Revel, G. *Medida atomizada de la granulometría del polvo atomizado para el control del proceso en línea* [en línea]. Ancona-Italia: Departamento de Mecánica, Universidad Politécnica de Marche, 2018. [Consulta: 10 de noviembre del 2018]. Disponible en: <http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/0063304s.pdf>

DISEÑO DE CONDUCTOS DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN LOCALIZADA POR EXTRACCIÓN (SVLE) [en línea]. 2011. Métodos de diseño. [Consulta: 06 de diciembre del 2018]. Disponible en:

http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados_apuntes_CAPITULO_CALCULO_CONDUCTOS.pdf

DISEÑO DE CONDUCTOS DE SISTEMAS DE VENTILACION LOCALIZADA POR EXTRACCION (SVLE) [En línea]. 2011. [Consulta:10 de diciembre del 2018]. Disponible en: http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados_apuntes_CAPITULO_CALCULO_CONDUCTOS.pdf

ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos. *Ventilación Industrial.* Medellín – Colombia: Ediciones de la U, 2011. pp. 12-60.

ESCRIG VIDAL, Alberto. Simulación de la transferencia de energía de hornos monoestrato de rodillos para la cocción de baldosas cerámicas (Tesis) (Doctoral). [En línea] Universidad de Jaume I, Ingeniería Química. Castelló. 2017. [Consulta: 2018-01-01]. Disponible en: https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/409735/2017_Tesis_Escrig%20Vidal_Alberto.pdf?sequence=1

ENCICLOPEDIA DE CARACTERÍSTICAS. *Contaminación del aire* [En línea]. 2017. Fuentes fijas. [Consulta: 13 de octubre del 2018]. Disponible en: <https://www.caracteristicas.co/contaminacion-del-aire/>

EPA. *Controles de materia particulado* [En línea]. Estados Unidos: 2015. Filtros y casas de bolsas. [Consulta: 03 de diciembre del 2018]. Disponible en: <https://www3.epa.gov/ttnca1/dir2/cs6ch1-s.pdf>

Fundación para la salud geoambiental. *Dióxido de nitrógeno NO₂* [en línea]. España: 2016. Qué efectos tiene en la salud. [Consulta: 9 de noviembre del 2018]. Disponible en: <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-nitrogeno-no2>

Fundación para la salud geoambiental. *Dióxido de azufre SO₂* [en línea]. España: 2014. Qué efectos tiene en la salud. [Consulta: 9 de noviembre del 2018]. Disponible en: <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-azufre-so2>

Galán, Emilio, & Aparicio, Patricia. *Materias primas para la industria cerámica* [en línea]. Sevilla: 2011. Materias primas cerámicas, p. 32-36. [Consulta: 7 de septiembre del 2018]. Disponible en: http://www.ehu.es/sem/seminario_pdf/SEMINARIO_SEM_2_031.pdf

GOBERNA, Ricardo. Ventilación Industrial, Manual de Recomendaciones Prácticas para la Prevención de Riesgos Profesionales [En línea]. Valencia – España: 1992. [Consulta: 10 de enero del 2018]. Disponible en: https://www.ucursos.cl/ingenieria/2011/2/ME5701/1/material_docente/bajar?id_material=39242

HMD Project Managers. *Costos directos, indirectos y variables del Proyecto* [En línea]. 2017. [Consulta: 08 de enero del 2019]. Disponible en: <https://uv-mdap.com/blog/determinar-la-dimension-economica-proyecto-2/>

INTENDENCIA DE MONTEVIDEO. *Calidad de aire* [En línea]. Montevideo – Uruguay: Artigas Vignolo, 2018. Principales contaminantes del aire. [Consulta: 13 de octubre del 2018]. Disponible en: <http://www.montevideo.gub.uy/calidad-del-aire/principales-contaminantes-del-aire>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLÓGICA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. *Informe del Estado la Calidad de Aire en Colombia 2007 – 2010* [En línea]. Bogotá – Colombia: 2012. [Consulta: 12 de octubre del 2018]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/5.+Informe+del+estado+de+la+calidad+del+aire+2007-2010.pdf/52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29?version=1.0>

MAYORGA PÉREZ, Diego Fernando. Determinantes de riesgos y exposición al material particulado en las áreas de preparación de material abrasivo de una empresa en el parque industrial de Riobamba [En línea] (Tesis) (Maestría) Universidad Tecnológica Equinoccial, Dirección General de Posgrados, Seguridad y prevención de riesgos, Ecuador. 2015. p.34 [Consulta: 14 de enero del 2019]. Disponible en: <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/17927>

MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA, & INSTITUTO DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. *Ventilación General por Dilución* [En línea]. España: 2013. Principios de ventilación por dilución. Consulta: 18 de noviembre del 2018]. Disponible en:

http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_741.pdf

Negrete, José, & Arévalo, Miguel. *Anuario Climatológico* [en línea]. Riobamba: 2013. [Consulta: 17 de mayo del 2018]. Disponible en: http://oldwww.esPOCH.edu.ec/Descargas/noticias/ANUARIO_2013-1_d3dec.pdf

NIVELLO CHALCO, Juan Pablo, & UGALDE PACHECO, Juan Eduardo. Diseño de un sistema de extracción de polvo para la empresa INSOMET (división TELARTEC, productora de telas de poli-algodón); perteneciente al Grupo Empresarial Gerardo Ortiz Cía. Ltda (tesis)(Ingeniería) [En línea] Universidad Politécnica Salesiana, Ingenierías, Ingeniería Mecánica. Cuenca – Ecuador. 2011. pp.45-70. [Consulta: 2017-11-20]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1440/13/UPS-CT002055.pdf>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, *Calidad del aire y salud* [En línea]. 2018. Definición y fuentes. [Consulta: 14 de octubre del 2018]. Disponible en: [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

ORRALA REYES, Alex Guissepe. Diseño de un sistema de extracción de material particulado de una planta de arena (Trituración y Clasificación de polvo) (tesis)(Ingeniería). [En línea] Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería, Ingeniería Mecánica. Cuenca – Ecuador. 2010. [Consulta: 2017-11-23]. Disponible en:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4856/6/UPS-CT001898.pdf>

PCE INSTRUMENTOS. *Definición de la calidad de aire y el CO2* [En línea]. España, 2014. [Consulta: 15 de octubre del 2018]. Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/definicion-calidad-aire-y-co2.htm>

RODRÍGUEZ, Juan Felipe; ALARCÓN PINTO, Uriel Faruk; GARCÍA BEDOYA, Olmer; & BENAVIDES, Germán. *Diseño y prototipo de un precipitador electrostático* [En línea]. Colombia: UTADEO, 2017. [Consulta: 03 de diciembre del 2018]. Disponible en: <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1237/1242>

SACMI. *Secadores horizontales* [en línea]. Italia: 2016. Secadero bicanal EDP. [Consulta: 9 de noviembre del 2018]. Disponible en: http://www.sacmiforni.com/System/00/02/37/23743/635471556795511190_1.pdf

SÁENZ PALACIOS, Carmelo. *Protección atmosférica* [En línea]. España: 2007. Eliminación de contaminantes particulados. [Consulta: 03 de diciembre del 2018]. Disponible en: <https://www.eoi.es/es/file/18259/download?token=VIJaaYsN>

Silva, Vicente. *Contaminación del aire por material particulado (PM10 y PM2.5)* [en línea]. León – México. 2012. Cuarta hoja. [Consulta: 9 de noviembre del 2018]. Disponible en: http://tallerdearquitecturamexicana.com/observaleon.org/wp-content/uploads/2010/03/Material-Particulado_Vicente-Silva.pdf

SODECA. *Ventiladores Heavy Duty para Aplicaciones Industriales y Extractores para Atmosferas explosivas Atex* [En línea]. Ecuador: 2018. p.32 [Consulta: 08 de enero del 2019]. Disponible en: http://www.sodeca.com/upload/imgCatalogos/ES/CT11_60Hz_2012ES.pdf

SOLER, & PALAU. *Manual Práctico de Ventilación* [En línea]. México: 2016. [Consulta: 18 de noviembre del 2018]. Disponible en: http://www.solerpalau.mx/pdf/sp_ventilacion_TOTAL.pdf

TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA. Libro VI: Calidad Ambiental, Anexo 4. Ecuador. 2004. p.12

3D CAD Portal. *3D SOFTWARE CAE* [En línea]. 2019. Ansys. [Consulta: 15 de enero del 2019]. Disponible en: <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>

ANEXOS

PLANOS