



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ASPIRACIÓN
LOCALIZADO, PARA LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL
PARTICULADO DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN EL
ÁREA DE SECADO DE LA EMPRESA INDUAMÉRICA
TRADE S.A. SAN RAFAEL–BELLAVISTA–SAN MARTÍN”**

Bach: NILSON ROBERT BARAHONA SUXE

Asesor:

M.Sc. FREDY DÁVILA HURTADO

LAMBAYEQUE - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL

“PEDRO RUIZ GALLO”

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



TESIS

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ASPIRACIÓN
LOCALIZADO, PARA LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL
PARTICULADO DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN EL
ÁREA DE SECADO DE LA EMPRESA INDUAMÉRICA
TRADE S.A. SAN RAFAEL–BELLAVISTA–SAN MARTÍN”**

Autor:

Bach: NILSON ROBERT BARAHONA SUXE

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE: Dr. ANIBAL JESÚS SALAZAR MENDOZA

SECRETARIO: Ing. OSCAR MÉNDEZ CRUZ

VOCAL: Ing. PERCY EDWAR NIÑO VASQUEZ

ASESOR: M.Sc. FREDY DÁVILA HURTADO

LAMBAYEQUE - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

TESIS



TÍTULO

**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE ASPIRACIÓN LOCALIZADO, PARA
LA EXTRACCIÓN DE MATERIAL PARTICULADO DE LA CASCARILLA
DE ARROZ EN EL ÁREA DE SECADO DE LA EMPRESA
INDUAMÉRICA TRADE S.A. SAN RAFAEL–BELLAVISTA–SAN
MARTÍN”**

CONTENIDOS

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

Autor: Bach. NILSON ROBERT BARAHONA SUXE

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mis padres: Leonides y Lindaura. Gracias por enseñarme que por muy difíciles que fueran los tiempos es posible salir adelante, gracias por inculcar en mi persona principios y valores ya que esto fue medular para el desarrollo de mi formación profesional.

A mis hermanos: Greysi, Deyvi, Leonardo y Geysler.

AGRADECIMIENTO

Un reconocimiento al Msc. Ing. Fredy Dávila Hurtado por su apoyo, dedicación y aliento constante para poder culminar este trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, en especial a los ingenieros de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por los conocimientos compartidos conmigo lo cual ha permitido formar un profesional innovador y con capacidad para la toma de decisiones en bien de la sociedad.

A la empresa Indumerica Trade S.A. por permitir el ingreso a planta para realizar mediciones y por la información brindada lo cual facilitó el desarrollo de este trabajo

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla la propuesta de un Sistema de Aspiración Localizado, para la extracción de material particulado de la cascarilla de arroz en el proceso de secado para la Empresa Induamérica Trade S.A.

La operación de los equipos involucrados en el proceso de secado tales como fajas transportadoras, cadenas transportadoras y elevadores de cangilones, son fundamentales ya que complementan el proceso transportando los granos de un punto a otro. Sin embargo, es aquí donde se libera gran cantidad de material particulado debido a que, se va disminuyendo gradualmente la humedad del grano, lo que provoca que el material particulado que está adherido se vaya liberando de la capa externa del grano, una parte al entorno que lo rodea y otro viaje con el mismo hasta llegar a pilado y finalmente terminar en compactado. No solo la pérdida de humedad es causal de la generación de partículas, se suman también a ello los múltiples procesos del ciclo, ya que generan fricción entre los mismos granos, el impacto con las paredes de los ductos y las estructuras metálicas, el paso de los cangilones sobre el paddy, la velocidad y la fuerza centrífuga con la cual son despedidos de los elevadores, fajas y cadenas transportadoras, estos últimos son los causales de la erosión de las capas del grano permitiendo así la creación de materia particulada. Posteriormente, este polvo generado que viaja con los granos tiene efectos económicos negativos ya que impide la comercialización de la cascarilla de arroz.

Para demostrar la presencia de material particulado se procede a realizar muestras cercanas a las fuentes de emanación teniendo en cuenta los parámetros máximos que exige la norma nacional.

Una vez verificado la existencia del material particulado se continúa con el diseño el cual comprende cuatro componentes básicos los cuales trabajan en conjunto para lograr la extracción. El primer elemento del sistema es la campana donde se da la captura del material particulado, luego continúa el sistema de conductos por donde circula el contaminante, en seguida está el sistema de purificación donde separamos el aire del contaminante y finalmente encontramos el ventilador centrífugo encargado de suministrar energía cinética al aire.

ABSTRACT

The present work develops the proposal of a Localized Aspiration System, for the extraction of particulate material from the rice husk in the drying process for the Empresa Induamérica Trade S.A.

The operation of the equipment involved in the drying process, such as conveyor belts, conveyor chains and bucket elevators, are fundamental since they complement the process by transporting the grains from one point to another. However, it is here that a large amount of particulate material is released because the humidity of the grain gradually decreases, which causes the particulate material that is adhered to be released from the outer layer of the grain, a part of the environment that surrounds it and another trip with it until it reaches a pile and finally ends up compacted. Not only the loss of moisture is causal of the generation of particles, the multiple processes of the cycle are also added to it, since they generate friction between the same grains, the impact with the walls of the ducts and the metallic structures, the passage of the buckets on the paddy, the speed and the centrifugal force with which they are fired from the elevators, belts and conveyor chains, the latter are the causes of the erosion of the grain layers, thus allowing the creation of particulate matter. Subsequently, this generated dust that travels with the grains has negative economic effects since it prevents the commercialization of the husk.

To demonstrate the presence of particulate material, samples should be taken near the sources of emanation, taking into account the maximum parameters required by the national standard.

Once the existence of the particulate material has been verified, the design continues, which comprises four basic components which work together to achieve

extraction. The first element of the system is the hood where the particulate material is captured, then the system of conduits through which the contaminant circulates continues, then there is the purification system where we separate the air from the pollutant and finally we find the centrifugal fan in charge of supply kinetic energy to the air.

INDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VIII
INDICE	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Realidad Problemática.	1
1.2. Formulación del Problema.....	6
1.3. Hipótesis.....	6
1.4. Delimitación de la Investigación.	7
1.5. Justificación e importancia de la Investigación.....	8
1.6. Limitaciones de la Investigación.....	10
1.7. Objetivos.	10
1.7.1. Objetivo General.....	10
1.7.2. Objetivos Específicos.	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. Antecedentes de Estudios.....	12
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado.....	13
2.2.1. Proceso Productivo.....	13
2.2.2. Descripción de Pre-Limpieza.	13
2.2.3. Descripción de Secado.	18
2.2.4. Descripción de Pilado.	24
2.2.5. Proceso de Compactado.	25
2.2.6. Inventario de maquinaria que interviene en el estudio.....	26
2.2.7. Activos físicos del área de Secado.	27
2.2.8. Sistema de Extracción Localizada.	32
2.2.9. Tamaño del material particulado.....	33
2.2.10. Velocidad de captura.....	33
2.2.11. Velocidad de transporte.....	34
	X

2.2.12.	Campanas.	36
2.2.13.	Sistema de Conductos.....	44
2.2.14.	Depuradores de Aire.....	52
2.2.15.	Ventilador.	76
2.2.16.	Normativa Peruana.....	85
2.2.17.	Principio de funcionamiento muestreador de aire de alto volumen.....	87
2.3.	Definición conceptual de la terminología empleada	89
2.4.	Viabilidad del proyecto de investigación.....	90
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....		95
3.1.	Tipo y diseño de investigación.	95
3.2.	Población y muestra.....	95
3.3.	Hipótesis.....	96
3.4.	Variables – Operacionalización.....	96
3.5.	Métodos y Técnicas de Investigación.....	98
3.6.	Descripción de los instrumentos utilizados.....	99
3.7.	Análisis estadístico e interpretación de los resultados.	100
CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN		101
4.1.	Descripción del sistema propuesto.....	101
TÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS		103
5.1.	Determinación de la concentración de material particulado (PM ₁₀).....	103
5.2.	Determinación de los parámetros de funcionamiento del Sistema de Aspiración Localizado.....	104
5.3.	Cálculos para la selección del ventilador.....	116
5.4.	Viabilidad técnico-económica del proyecto de investigación.....	124
5.4.1.	Flujo de caja proyectado.....	124
5.4.2.	Estructura del flujo de caja.....	124
5.4.3.	Valor Actual Neto (VAN).	126
5.4.4.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	126
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		128
6.1.	Conclusiones	128
BIBLIOGRAFÍA.....		132
ANEXOS.....		135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Inventario de Máquinas de Secado.....	27
Tabla 2: Clasificació de partículas según su tamaño	33
Tabla 3: Rango de Velocidades de Captura.	34
Tabla 4: Rango de Velocidades mínimas de transporte en ductos.....	35
Tabla 5: Estándares de Calidad Ambiental para Aire.	86
Tabla 6: Traducción de términos de figura 40.....	88
Tabla 7: Operacionalización de Variables.....	97
Tabla 8: Puntos de generacion de MP	105
Tabla 9: Contaminante, Velocidad de Captura y velocidad de transporte	107
Tabla 10: Resumen de cálculo del sistema.....	113
Tabla 11: Metrado de campanas.	118
Tabla 12: Metrado de conductos rectos.....	119
Tabla 13: Metrado de codos.	119
Tabla 14: Metrado de uniones.	120
Tabla 15: Metrado de transiciones.....	120
Tabla 16: Metrado de tubos y curvas para aire comprimido.	121
Tabla 17: Metrado conductor eléctrico.....	121
Tabla 18: Metrado de materiales de protección y arranque de motores.	122
Tabla 19: Mangas filtro, ventilador y esclusa.	123
Tabla 20: Inversión Total.....	124
Tabla 21: Tasa de interés anual.....	125
Tabla 22: Cálculo del VAN.....	126
Tabla 23: Cálculo de laTIR.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Interior y exterior de Fajas Transportadoras 02 y 03	2
Figura 2: Presencia de Material Particulado en elevadores de cangilones 03 y 043	
Figura 3: Descarga de cascarilla en tolvas de compactado.....	4
Figura 4: Descarga de cascarilla con material particulado en volquete.....	5
Figura 5: Ubicación geográfica de la Empresa induamerica Trade S.A.	8
Figura 6: Malla Cilíndrica	15
Figura 7: Cámara de Aspiración	16
Figura 8: Zaranda	17
Figura 9: Secadora tipo cascada con caballetes	20
Figura 10: Faja Transportadora	21
Figura 11: Elevador de Cangilones	23
Figura 12: Cadena Transportadora	24
Figura 13: Compactadora	26
Figura 14: Flujograma de Secado Línea 01.....	28
Figura 15: Flujograma de Secado Línea 02.....	30
Figura 16: Tipos de campanas	37
Figura 17: Encerramiento en descargas de cintas transportadoras.	38
Figura 18: Sistema de extracción para contaminantes nocivos.....	39
Figura 19: Campana sin pestaña.....	40
Figura 20: Campana con pestaña	41
Figura 21: Ángulo de progresión en campanas.....	42
Figura 22: Ingreso de aire a la campana.....	42
Figura 23: Unión de conductos laterales a conducto principal.....	52
Figura 24: Cámara de Expansión	53

Figura 25: Cámara de Sedimentación con Placas Múltiples.....	54
Figura 26: Separador Ciclónico	56
Figura 27: Cámara de Aspersión.....	60
Figura 28: Lavador Ciclónico	61
Figura 29: Lavador de Venturi	63
Figura 30: Filtros de tela limpiados por agitador.....	66
Figura 31: Limpieza de filtro con aire invertido.	68
Figura 32: Desprendimiento de polvo de la tela.	70
Figura 33: Sistema de limpieza con chorro pulsante.	71
Figura 34: Sistema electro de descarga-electrodo collector.....	73
Figura 35: Ventilador Axial.....	78
Figura 36: Ventilador Centrífugo.....	79
Figura 37: Ventilador con álabes curvados hacia adelante.	80
Figura 38: Ventilador con álabes radiales.	81
Figura 39: Ventilador de álabes curvados hacia atrás.....	82
Figura 40: Muestreador de partículas de alto volumen de PM ₁₀	88
Figura 41: Muestreador de partículas de PM ₁₀ de alto volumen.....	104
Figura 42: Campana para faja transportadora.....	109
Figura 43: Extracción para elevador de cangilones.....	110
Figura 44: Parámetros técnicos del sistema de limpieza.....	115
Figura 45: Superficie filtrante y capacidad de aire.....	115

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática.

El proceso productivo que siguen los granos de arroz en el área de secado de la empresa Inudmaerica Trade S.A. no es un proceso complejo, sin embargo, es aquí donde se encuentra el epicentro de la contaminación, ya que se libera gran cantidad de material particulado debido a que, se va disminuyendo gradualmente la humedad del grano, lo que provoca que el material particulado que está adherido se vaya liberando de la capa externa del grano (superficie porosa), una parte al entorno que lo rodea y otro viaje con el mismo hasta llegar a pilado y finalmente terminar en compactado. No solo la pérdida de humedad genera la fuga de partículas, se suman también a ello los múltiples procesos del ciclo, ya que generan fricción entre los mismos granos, el impacto con las paredes de los ductos y las estructuras metálicas, el paso de los cangilones sobre el paddy, la fuerza centrífuga con la que son despedidos de los elevadores, fajas y cadenas transportadoras, estos últimos son los causales de la erosión de las capas del grano permitiendo así la creación de materia particulada. Prueba de ello se presentan las siguientes imágenes:

A la derecha de la **Figura 1** faja transportadora 02 ingreso de arroz de silos húmedos (01, 02 y 03) hacia elevador de cangilones 03. Se aprecia 02 imágenes de la faja transportadora, en la superior la parte externa que se extiende desde los silos húmedos hacia el elevador. En la imagen inferior es claro ver la presencia de polvo depositado sobre la estructura que cubre la faja transportadora.

En la izquierda de la **Figura 1** faja transportadora 03, encargada de la recepción de arroz de los silos de transición (01, 02 y 03) y llevarlo al elevador de cangilones 04. La imagen superior permite ver parte externa de la faja transportadora; debido a que está es una zona muy transitada se le acondicionó una calamina para evitar que el polvo fugitivo se deposite sobre los transeúntes, al mismo tiempo genera problemas en los ambientes cercanos por la sedimentación que obliga al personal encargado una continua limpieza.



Figura 1: Interior y exterior de Fajas Transportadoras 02 y 03 ¹

¹ Tomada por el autor

En la **Figura 2**, a la derecha se visualiza la parte inferior del elevador de cangilones 03, es inevitable ver cúmulos de material particulado sobre la tapa que oculta la polea ranurada, así como también presencia de material particulado en los ángulos que dan consistencia y rigidez a las planchas galvanizadas que forman la estructura que sirve de base al elevador.

Visualizando la imagen izquierda de la **Figura 2** es notable la presencia de material particulado depositada sobre la tapa de la polea, en las paredes de la estructura del elevador, los ángulos y sobre las chumaceras que sirven de apoyo al eje de la polea ranurada contenida en el interior del elevador.



Figura 2: Presencia de Material Particulado en elevadores de cangilones 03 y 04²

Se mencionó que una parte del material particulado se queda en el entorno que lo rodea y otra es conducida hacia las tolvas de compactado. El transporte

² Tomada por el autor

hacia las tolvas de compactado se realiza mediante una corriente de aire contenida en ductos. En la **figura 3** se aprecia que el ducto de alimentación de cascarilla descarga en el transportador de tornillo sinfín el cual tiene la función de distribuir la cascarilla en las 04 tolvas del área de compactado. Para el caso de la **figura 3** el transportador está alimentando de cascarilla a la tolva 01, sin embargo, el material particulado (color gris en la imagen) debido a

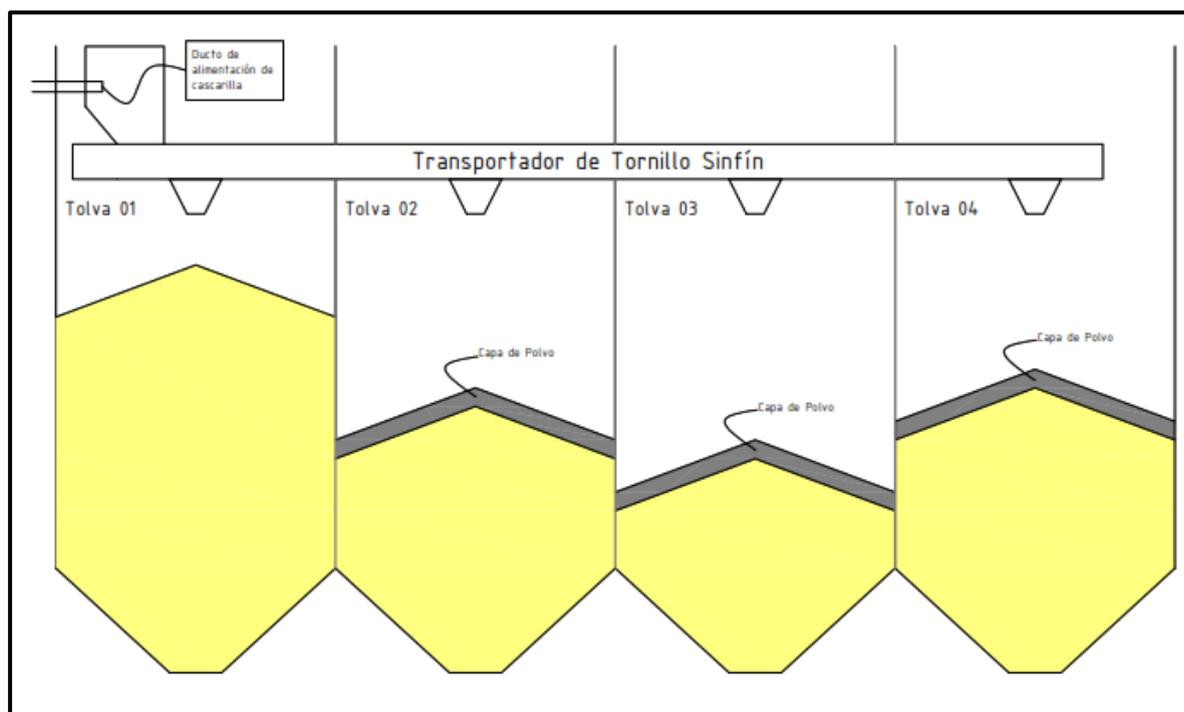


Figura 3: Descarga de cascarilla en tolvas de compactado.³

su baja densidad viaja a las tolvas contiguas y se va sedimentando lentamente sobre la cascarilla de las tolvas 02, 03 y 04, con el paso de las horas este material particulado forma capas de aproximadamente 10 cm de alto sobre la superficie de la cascarilla. Las capas de polvo formadas descienden

³ Elaboración propia.

conjuntamente con la cascarilla conforme se vaya alimentando de cáscara a los hornos y compactando en la parte inferior. Cuando llegan al fondo que es donde se encuentran las compuertas que alimentan de cáscara a las unidades hidráulicas (compactadoras) se aprecia el problema en su total magnitud. La cáscara a compactar cae en simultáneo con los cúmulos de polvo y como consecuencia de deja de compactar debido a que la presencia de polvo impide la comercialización de la cascarilla.

A continuación, en la **Figura 4** se muestra a la tolva 04 descargando cascarilla contaminada en un volquete. Las personas en la parte superior de la tolva del volquete aperturan y cierran la compuerta de salida de la cascarilla asimismo acondicionan la cáscara para que el volquete vaya al 100% de su capacidad lo cual en masa equivale a 3,017t. Este problema es crónico y anualmente se deben de arrojar aproximadamente lo que equivale a 58 volquetes al 100% de su capacidad, que en masa significa 175 t.



Figura 4: Descarga de cascarilla con material particulado en volquete.⁴

⁴ Tomada por el autor.

Cada vez que esto suceda los operarios dejan sus labores de lado y recurren a estas actividades, esto interfiere en el plan de trabajo diario destinado para cada uno de ellos. Por otro lado, están los volquetes cuya función es alimentar de materia prima desde las chacras hacia el molino, sin embargo, tienen que arrojar la cáscara contaminada, esto conlleva al incremento en los costos operativos y el incumplimiento con el abastecimiento de materia prima diario desde las chacras hacia el molino.

La presencia del material particulado no solo tiene efectos negativos en la economía de la empresa sino también tiene efectos en la salud de los operarios. En los Estándares de Calidad Ambiental para aire ECA se establecen valores máximos para PM_{10} y $PM_{2,5}$, en el **anexo N° 07** se muestra el resultado de la concentración de PM_{10} , valor que supera significativamente lo establecido por el ECA.

1.2. Formulación del Problema.

¿Influye el Sistema de Aspiración en la extracción de material particulado presente en la cascarilla de arroz en el área de secado en la Empresa Induamerica Trade S.A.?

1.3. Hipótesis.

Sí, influye el Sistema de Aspiración localizada en la extracción de material particulado de la cascarilla de arroz en el área de secado en la Empresa Induamerica Trade S.A.

1.4. Delimitación de la Investigación.

En el año 1997 las familias Perales Huancaruna y Mundaca Cardoso, deciden ingresar al negocio de arroz, empezando el acopio de arroz paddy (cáscara) de las zonas productoras (San Martín) hacia los molinos de la ciudad de Chiclayo, lugares donde se tomaba servicio de maquila para luego comercializarlo en arroz blanco (producto terminado).

En el año 2003, se constituye “Industria Arrocera de América - INDUAMERICA” la planta industrial de arroz con la mejor tecnología disponible en ese momento, dando así un paso adelante en el sector industrial de arroz del país. En el año 2012 se inaugura la Planta Industrial de Arroz en Rioja (Induamerica Trade) con lo que se incrementa la competitividad e influencia de una de las zonas más importantes de producción de arroz.

A la fecha, el Grupo Induamerica cuenta con tres Plantas Industriales para el proceso de arroz, la última fue inaugurada en agosto del 2014, con lo cual su capacidad de producción anualmente supera las 120 000 toneladas de arroz. Esta última ubicada en la Carretera Fernando Belaunde Terry Km. 706,7 Distrito San Rafael – Provincia Bellavista – Región San Martín.⁵

⁵ <https://www.induamerica.com.pe/nosotros.php>



Figura 5: Ubicación geográfica de la Empresa induamerica Trade S.A.⁶

1.5. Justificación e importancia de la Investigación

Justificación del Estudio

Con el desarrollo del presente proyecto de investigación empírica se obtendrá múltiples beneficios, los cuales se mencionarán líneas abajo distribuidos en aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales.

⁶ <https://www.google.com.pe/maps/place/Induamerica+Trade/@-7.037201,-76.4934675,604m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x91b0784f835ababb:0xc23f7626f5bf8630!8m2!3d-7.037201!4d-76.4916839?hl=es-419>

Justificación Técnica.

Con la implementación del nuevo Sistema de Aspiración se logrará reducir la concentración de materia particulada generada por los procesos y causal de la contaminación de la cáscara, en la empresa Induamerica Trade S.A.

Justificación Económica.

La optimización del Sistema de Aspiración Localizado que se instalará en las fuentes estacionarias de las líneas de secado 01 y 02 se evitará la contaminación de cascarilla esto permitirá que la cascarilla de arroz que se arrojaba a la intemperie se pueda vender y generar mayores ingresos para la empresa.

Justificación Social.

La instalación de este nuevo equipo beneficiará a los operarios, personal de limpieza y todos los involucrados en esta parte del proceso, lo cual significa que se dejará de inhalar el agente contaminante proveniente del foco infeccioso

Justificación Ambiental.

Las partículas en suspensión que presentan diámetros inferiores a 5 μm son fácilmente arrastrados al medio ambiente, de igual manera tienen gran afinidad entre sí, sobre todo las sólidas y líquidas y por ello, pueden actuar como núcleos de condensación y facilitar la formación de nieblas. Además, absorben y difunden la luz, provocando estos fenómenos una disminución de la penetración en intensidad de las radiaciones solares influyendo, como consecuencia, en las

actividades fotosintéticas y respiratorias de los vegetales, así como en las reacciones atmosféricas y en la situación meteorológica local.

Con la ejecución de este proyecto de tesis se evitará la dispersión o transporte de agentes contaminantes a la atmósfera, esto como resultado del tratamiento del material particulado.

1.6. Limitaciones de la Investigación.

Sólo se pudo medir la concentración de material particulado con diámetro inferior a 10 μm (PM_{10}) dejándose de lado la medición del material particulado con diámetro inferior a 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$). El equipo para medir las partículas con diámetro inferior a 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) lleva el nombre de HVAS $\text{PM}_{2,5}$ (High Volumen Air Sampler / Muestreador de Aire de Alto Volumen) implementado con cabezal y filtro para retención de partículas inferiores a 2,5 μm .

1.7. Objetivos.

1.7.1. Objetivo General.

Proponer un Sistema de Aspiración Localizado para la extracción de material particulado presente en la cascarilla de arroz en el proceso de secado de la empresa Induamerica Trade S.A.

1.7.2. Objetivos Específicos.

- a) Determinar la cantidad de material particulado (PM_{10}) generado por la cascarilla de arroz durante el proceso de secado.
- b) Determinar los parámetros de funcionamiento del Sistema de Aspiración Localizada.

- c) Seleccionar el ventilador del Sistema de Aspiración localizada que cumpla con los parámetros establecidos.
- d) Elaborar el presupuesto del Sistema de Aspiración Localizado para la extracción de Material particulado.
- e) Realizar una evaluación económica del Sistema de Aspiración Localizado mediante indicadores VAN y TIR.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios.

Contexto Internacional

Según D'Antonino Faroni, Martin Teixeira, Marques Pereira, Marques Pereira, & Pereira da Silva (1993) en Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural establece que los granos y cereales cosechados manual o mecánicamente siempre contienen impurezas. Para la conservación de los granos durante el almacenamiento es necesario considerar dos aspectos importantes de las impurezas; uno de ellos es el hecho que su presencia hace más difícil la conservación de los granos, y el otro se refiere a la dificultad que presentan para la buena operación de las unidades almacenadoras. El exceso de impurezas influye en forma negativa en la conservación de los productos almacenados, porque normalmente son higroscópicos y tienden a humedecer los granos, además de ser un medio favorable para el desarrollo de insectos y microorganismos. Con respecto a la operación de unidades almacenadoras, las impurezas afectan el rendimiento de las secadoras, dificultan el movimiento de los granos y crean una barrera para el paso del aire de secado. Las impurezas constituyen un riesgo de incendio cuando quedan depositadas en el interior de las secadoras, ya que pueden entrar fácilmente en combustión.

Contexto Nacional

tenemos que **Hebel Augusto Vidal Salazar** en su tesis “**Diseño y Fabricación de una Máquina Limpiadora de Trigo**” publicada en el año 2004, a través de la cual propone el diseño, desarrollo y prueba de una máquina para el venteado de granos en la post cosecha de los procesos agrícolas. El venteo consiste en

retirar la paja de los granos de una mezcla proveniente del proceso de trillado. Dicha máquina se ubica en el marco de las tecnologías apropiadas, y está orientada a satisfacer los requerimientos de los pequeños productores agrícolas de las zonas altas de los Andes los cuales tienen una capacidad adquisitiva reducida. Cuya finalidad es brindar una tecnología que ayude a los pequeños productores agrícolas, dentro de la cadena productiva, a incrementar la producción de diversas gramíneas.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado.⁷

2.2.1. Proceso Productivo.

Se considera el proceso productivo necesario para comprender la importancia del procesamiento de granos, al mismo tiempo será de gran utilidad para mostrar lo que se está obviando para obtener mejores productos de calidad. El proceso productivo comprende 4 actividades básicas y fundamentales las cuales están interrelacionadas entre sí, estas actividades son: pre-limpieza, secado, pilado y compactado. Cada una de ellas tiene un fin determinado dentro del proceso, las cuales se mencionará en el desarrollo de este primer capítulo.

2.2.2. Descripción de Pre-Limpieza.

La limpieza de granos y cereales consiste en la eliminación parcial o total de las impurezas, para facilitar su conservación durante el almacenamiento y para

⁷ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

cumplir las normas sobre el contenido de impurezas en el momento de la comercialización.⁸

Esta práctica se refiere a la operación de limpieza de los granos inmediatamente después de su recepción o antes de su secado por medio de zarandas. Cuando se la realiza al momento de ingresar los granos a la planta de acopio se le denomina “pre-limpieza”

El objetivo de la limpieza es separar el grano de otros materiales indeseables (grano partido, hojas, cáscaras, glumas, restos de capítulos, etcétera), los cuales afectan negativamente el proceso de secado y de aireación.

Tal como se puede apreciar son muchos los beneficios obtenidos de la limpieza de los granos en la pos cosecha.

Para este proceso de limpieza la planta cuenta con equipos tales como: mallas cilíndricas, cámaras de aspiración, zarandas.

2.2.2.1. Mallas Cilíndricas.

Las máquinas de limpieza con mallas cilíndricas rotativas son muy utilizadas y de gran utilidad en la gran industria, debido a su gran capacidad para limpiar y porque requieren baja potencia para su funcionamiento.

Están constituidas básicamente por una malla cilíndrica, ubicada dentro de una estructura, la malla cuenta con un rodamiento de apoyo en uno de sus extremos y con tres ruedas que sostienen a dicha malla en el otro extremo, asimismo es importante mencionar la presencia de dos escobillas presentes en

⁸ Abadía, B., Bartosik, R., Cardoso, L., De la Torre, D., Giorda, J., Hoyos, M., & Rúveda, C. (2013). *Manual de Buenas Prácticas en Poscosecha de Granos Hacia el agregado de valor en origen de la producción primaria*. Buenos Aires: Ediciones INTA.

la parte externa de la malla, estas se extienden a lo largo de la generatriz de la malla su función es limpiar las impurezas de gran tamaño que pueden quedar atascadas en los agujeros, también limpia el polvo húmedo que permanece prendido alrededor de la malla

Durante su funcionamiento, los granos entran por la malla interna que posee orificios más grandes que los granos de arroz, lo cual permite que el producto pase y se retengan las impurezas mayores (brozas, palote, tallos). No obstante, no basta con retener los productos en la malla, ellos deben ser transportados y para ello la malla cuenta con una platina envuelta alrededor de toda la periferia interna formando un sinfín unido a la misma malla.⁹



Figura 6: Malla Cilíndrica¹⁰

2.2.2.2. Cámaras de aspiración

Las cámaras de aspiración basan su funcionamiento en la diferencia de densidades entre los materiales a separar, estos son materiales livianos tales

⁹ (Abadía, y otros, 2013)

¹⁰ <http://pdf.directindustry.com/pdf/buehler/drum-sieve-mkzm/68538-608691.html>

como polvo, hojas, tallos, ramillas y los productos granulados tales como legumbres, cereales, y menestras.

Para la separación de los productos hacen uso de una corriente de aire la cual hace contacto primeramente con los granos e impurezas livianas luego que el aire supera la velocidad terminal de las impurezas los guía hacia la cámara para después conducirlos por el conducto. Cuando el producto contiene muchas impurezas pesadas, como terrones y arena, no es posible con este método realizar una buena limpieza.¹¹

En la **figura 7** se puede apreciar una cámara de aspiración en la cual:

1. Ingreso del producto granulado con las impurezas
2. Salida del producto granulado libre de impurezas.
3. Lugar donde se retira la corriente de aire con las malezas.

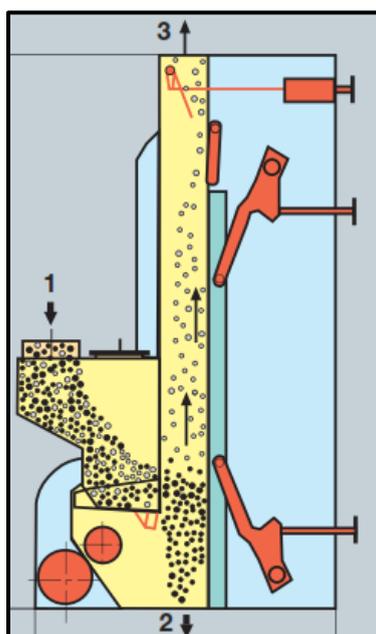


Figura 7: Cámara de Aspiración¹²

¹¹ (D'Antonino Faroni, Martin Teixeira, Marques Pereira, Marques Pereira, & Pereira da Silva, 1993)

¹² https://www.buhlergroup.com/china/zh/downloads/MVSG-H_MU16034_en.pdf

2.2.2.3. Zarandas

El método consiste en utilizar mallas o zarandas operando con un movimiento de vibración, vaivén, rotacional o lineal, trabajan en conjunto unas con perforaciones más grandes que otras, las que cuentan con perforaciones amplias dejan pasar los granos impidiendo que atraviesen los materiales de mayor tamaño; las mallas que tienen hoyos de menor tamaño están inclinadas para conducir los granos sin embargo el material de menor tamaño es conducido por unos canales para ser descargado en otro punto.

Las zarandas frecuentemente se las encuentra operando conjuntamente con cámaras de aspiración como la que se mencionó anteriormente.

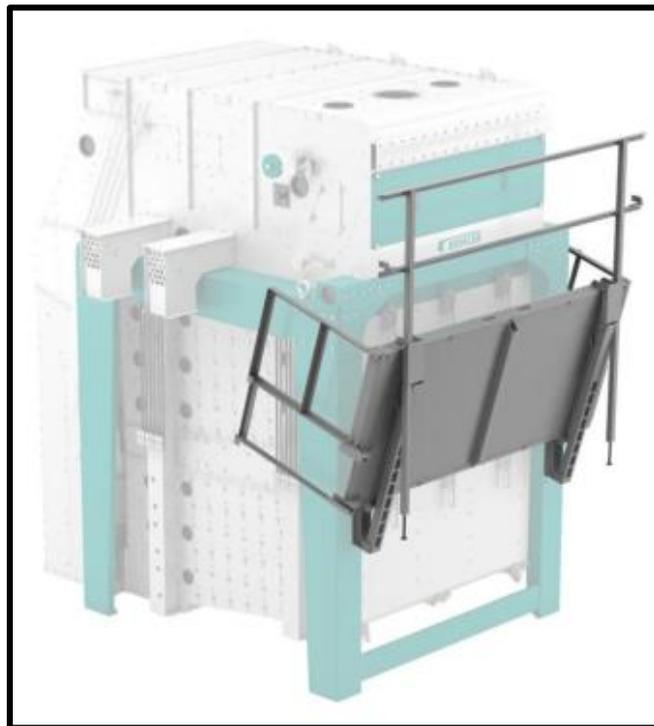


Figura 8: Zaranda¹³

¹³https://www.buhlergroup.com/global/en/downloads/TAS_Siebwechselfodest_en.pdf

2.2.3. Descripción de Secado.

El secado es un proceso de gran importancia en la cadena de producción de alimentos, ya que el contenido de humedad es, sin duda, la característica más importante para determinar si el grano corre el riesgo de deteriorarse durante el almacenamiento. El secado se realiza para inhibir la germinación de las semillas, reducir el contenido de humedad de los granos hasta un nivel que impida el crecimiento de los hongos, y evitar las reacciones de deterioración.¹⁴

La particularidad del secado, es que la remoción de moléculas de agua se logra por desplazamiento, en virtud de la diferencia de presiones parciales de vapor de agua, entre la superficie del producto a ser secado y el aire que lo rodea.

La condición necesaria y suficiente para que un producto pueda ser secado es: que la presión parcial de vapor de agua en su superficie, sea mayor que la presión parcial de vapor de agua en el aire.

Cuando la presión de vapor de agua, o la humedad es mayor en el grano que en el aire circundante (desde donde hay más a donde hay menos), por lo que sale del grano hacia el aire. La salida del agua se continúa hasta que el contenido de humedad o de presión de vapor del grano y aire se igualan.

En otras palabras, el secado no es otra cosa que el establecimiento de equilibrio higroscópico entre el grano y el aire.¹⁵

¹⁴ (D'Antonino Faroni, Martin Teixeira, Marques Pereira, Marques Pereira, & Pereira da Silva, 1993)

¹⁵ (Hugo & Godiño, 2000)

2.2.3.1. Secadoras

En los procesos de secado artificial, el secado se realiza con equipos en los que el movimiento de aire se efectúa por medio de ventiladores o sea por convección forzada. La ubicación de los ventiladores varía según el diseño de los fabricantes, es por eso, que en algunas poseen ventiladores en la parte superior y otras en los lados laterales.

Los secadores de tipo cascada están constituidos por una serie de canaletas en forma de “V” invertida, colocadas en líneas alternadas o cruzadas, a intervalos de más o menos 0,3 metros. Los granos fluyen hacia abajo por acción de la fuerza de gravedad, encima de las canaletas invertidas. El tiempo de demora en pasar el grano por la torre es bastante mayor, ya que el “tiempo de retención” puede ser de 30 a 45 minutos o más. El aire para el secado entra a través de un conjunto de canaletas y sale por el conjunto de canaletas superior e inferior. Al descender por el cuerpo del secador los granos se mueven en sentido concurrente y contracorriente al aire.

El producto llega al sistema de descarga con un contenido de humedad uniforme, ya que se mezcla en forma eficiente durante el proceso.¹⁶

En las secadoras de columna tipo cascada con canaletas separadas con las que se cuenta en planta, los granos recirculan mecánicamente y permite una mayor homogeneidad del secado.

¹⁶ (D'Antonino Faroni, Martin Teixeira, Marques Pereira, Marques Pereira, & Pereira da Silva, 1993)

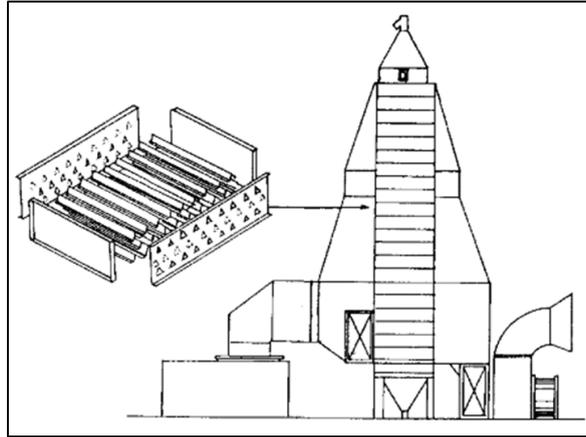


Figura 9: Secadora tipo cascada con caballetes¹⁷

2.2.3.2. Faja Transportadora:

Las fajas transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es transportar, elevar o distribuir materiales hacia otro punto. Son aparatos que funcionan solos, intercalados en líneas de proceso y que requieren generalmente de ningún operario que las manipule directamente de forma continua. Las fajas transportadoras sirven para el transporte horizontal o inclinado de objetos sólidos o material a granel cuyas dos ventajas principales son:

- a) Gran velocidad.
- b) Grandes distancias.

Su función más importante, a nivel de transporte, es hacerlo de forma continua, tanto de materiales homogéneos como mezclados, a distancias que puedan oscilar entre algunos metros y decenas de kilómetros.

Uno de los componentes principales es la banda de goma, que ejerce una doble función:

¹⁷ (D'Antonino Faroni, Martin Teixeira, Marques Pereira, Marques Pereira, & Pereira da Silva, 1993)

- a) Contener el material transportado.
- b) Transmitir la fuerza necesaria para transportar la carga.

Los ramales, superior y de retorno de la banda, descansan sobre una serie de rodillos soportados por estructuras metálicas. En los dos extremos del transportador, la banda se enrolla en tambores, unos de los cuales, en acoplado a un órgano motor para transmitir movimiento.¹⁸

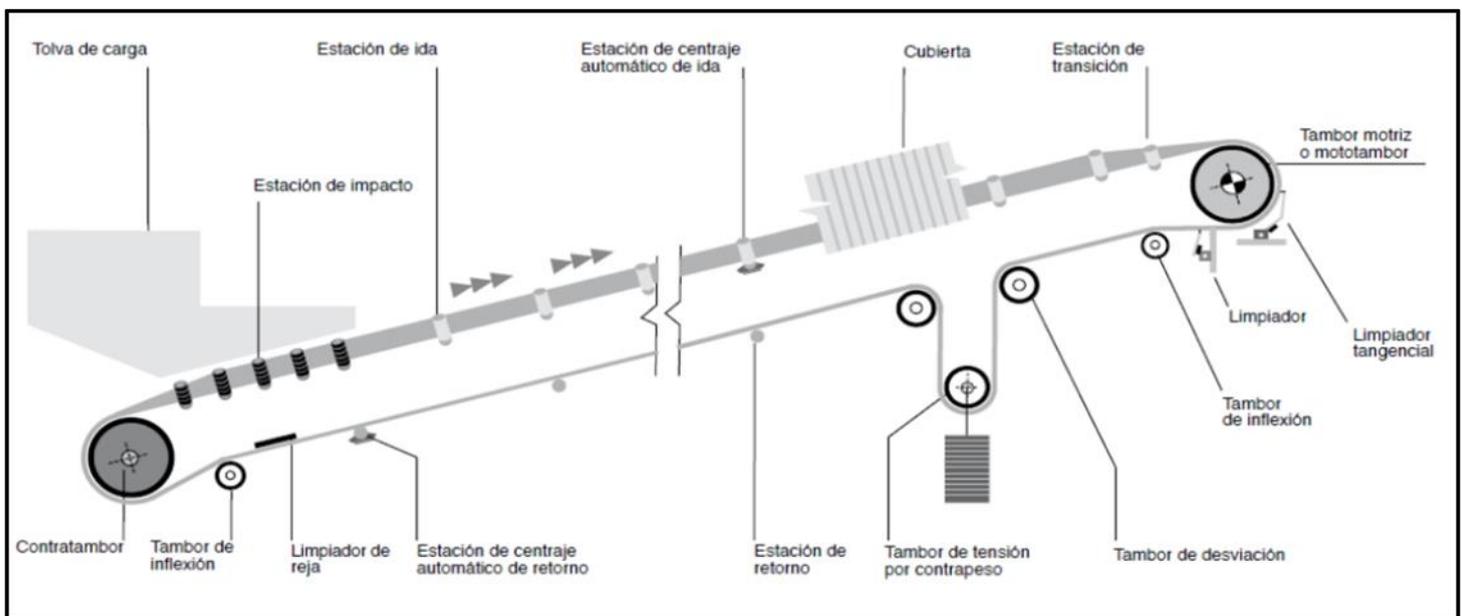


Figura 10: Faja Transportadora¹⁹

2.2.3.3. Elevador de Cangilones:

El elevador de cangilones consiste en una cadena o cinta sinfín que en sus extremos cuentan con una rueda dentada o polea. A dicha cinta van unidos cangilones (baldes de metal o plástico), a intervalos uniformes. La rueda superior es motora y la inferior conducida. El accionamiento de la rueda motora

¹⁸ (Salinero, 2013)

¹⁹ RUMELKA: Manual de cintas transportadoras

está dado por un motor a través de un reductor de velocidad ya sea caja reductora o con juego de poleas o piñón-catalina.

Los cangilones toman el material a transportar en la parte inferior, ya que en este punto está invertido, gira y asciende hasta la cabeza superior donde lo descarga.

Es un transportador muy utilizado para elevar granos, carbón, cenizas, cemento, minerales y rocas en trozos. Efectúa transportes en vertical y con inclinación superior a 45 grados.

Los elevadores de cangilones tienen tres formas distintas de descarga que se utilizan según los materiales a transportar:

- a) Descarga centrífuga: usada para materiales livianos y secos (granos). La descarga se efectúa por la proyección del material dada la fuerza centrífuga originada por las altas velocidades de los cangilones.
- b) Descarga continua: utilizada para el transporte de granos o en las dragas para la elevación de arena húmeda. Se aplica a cangilones de marcha lenta con velocidades de hasta 0,8 m/s. La pared de un cangilón sirve como canal para la descarga del siguiente.
- c) Descarga por gravedad: se utiliza para materiales pesados y pegajosos. Se descarga el material a recorrer la rueda superior. Es necesario desviar los cangilones vaciados para que sea posible recibir el material descargado.²⁰

²⁰http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/Antiguo/2015%20%201%20Cuatr./08_Apunte%20TteSoli%20dos.pdf

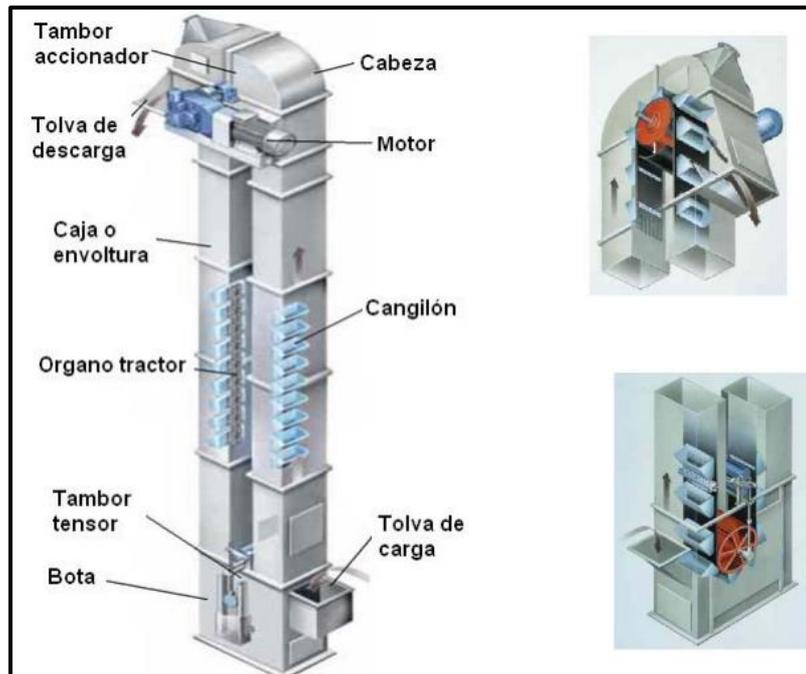


Figura 11: Elevador de Cangilones²¹

2.2.3.4. Cadena Transportadora:

Consiste en un canal por el que se desplazan paletas, cuya sección se ajusta a la del canal. El material a transportar se ubica entre las paletas y con el movimiento de estas se va desplazando.

Las paletas se encuentran unidas a una cadena sinfín, que se mueven como consecuencia de que en los extremos del transportador cuentan con ruedas dentadas, de las cuales la de un extremo es motora. Las paletas pueden ser de acero, sin embargo, en la actualidad son muy comunes las de polivinilo ya que son muy resistentes al transporte de productos abrasivos. La cadena de retorno va suspendida en ángulos metálicos para evitar el contacto con el material transportado.

²¹ <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11617/Presentacion%20PFC%20FGS.pdf>

Estos transportadores se utilizan para el transporte en horizontal y oblicuo hasta un ángulo no mayor de 30 grados (en algunos casos puede llegar hasta 45 grados).²²

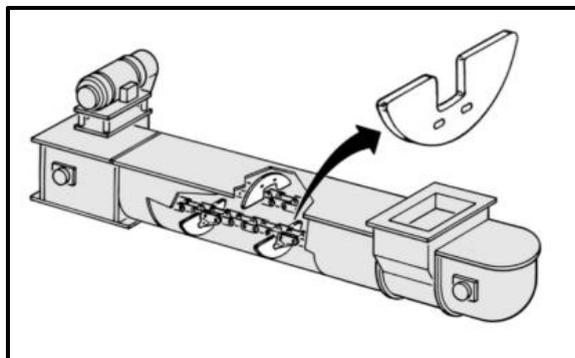


Figura 12: Cadena Transportadora²³

2.2.4. Descripción de Pilado.

El proceso del pilado consiste en la eliminación de la cáscara que protege el grano. Para poder obtener un producto en condiciones de ser consumido, en principio, el grano de arroz debe ser descascarado y luego ser pulido mediante fuerzas de fricción y abrasión. Estas fuerzas actúan sobre la superficie del grano generando tensiones que finalmente pueden producir la fractura del mismo. El resultado son granos enteros y granos quebrados. Los granos enteros son separados de los quebrados mediante clasificadores de alveolos y zarandas, luego se debe eliminar los granos con imperfecciones (grano con mancha, panza blanca, amarillo y tiza) en la selectora electrónica por color.

²²http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/Antiguo/2015%20%201%20Cuatr./08_Apunte%20TteSoli%20dos.pdf

²³https://es.slideshare.net/VizZioR/cangilones-tapco?qid=ef9e4834-6ec9-4285-b428d9e56178151a&v=&b=&from_search=32

Finalmente ingresa a la balanza para destinarlo a diferentes tipos de envases según la calidad del producto.

2.2.5. Proceso de Compactado.

La cáscara que fue separada del arroz integral en el proceso de pilado es guiada por unos ductos dentro del cual circula una corriente de aire cuya función es administrar energía cinética a la cascarilla y guiarlo hacia las tolvas de compactado. En la parte superior de las tolvas está en operación un transportador de tornillo sinfín el cual cumple la función de distribuir y almacenar la cascarilla a lo largo de las cuatro tolvas las cuales en la parte inferior cuentan con un canal de descarga hacia las máquinas compactadoras donde se da el respectivo prensado de la cascarilla.

Compactadoras:

Son máquinas hidráulicas cuya función es prensar la cáscara en sacos (pacas) de 25 kg. Estas máquinas operan con presiones que oscilan entre los 2 500 a 3 200 psi, estas presiones se logran mediante una bomba de engranajes que son accionadas por motores de 20 hp. El procedimiento de prensado de pacas es el siguiente:

- 1° Poner el saco de tal manera que envuelva completamente el cajón de la compactadora.
- 2° Manipular la válvula para descender el cajón con el saco hasta hacer contacto con el asiento de la unidad hidráulica.
- 3° Accionar la palanca de apertura y cierre para permitir que la cascarilla descienda por gravedad hacia el cajón de la compactadora.

4° Cuando la cascarilla se encuentra en el cajón se acciona las válvulas del mando hidráulico con la finalidad de movilizar el pistón central el cual tiene en su extremo una masa metálica encargada de comprimir la cáscara. (Los procesos de los pasos 3 y 4 se repiten las veces que sea necesario hasta obtener una paca con el peso establecido.

5° Finalmente se acciona las válvulas del mando para levantar el cajón y retirar la paca para coser.



Figura 13: Compactadora²⁴

2.2.6. Inventario de maquinaria que interviene en el estudio.

En el **anexo N° 01** se muestra la distribución general de toda la planta Induamerica. Están encerradas en círculo las cuatro áreas que abarcan el proceso productivo: Área de pre-limpieza, secado, pilado y compactado.

²⁴ Tomada por el autor.

De las instalaciones de la planta, se ha definido como área de estudio el área de secado conformada por la línea 01 y 02 las cuales operan independientemente una de la otra. En el **anexo N°02** se muestra la distribución de maquinaria en el área de secado.

Del inventario total de activos físicos de planta, se ha rescatado toda la maquinaria involucrada en el proceso de secado que son los activos que conforman la línea 01 y 02, las cuales se muestran en la **tabla N°01**.

Tabla 1: Inventario de Máquinas de Secado²⁵

INVENTARIO DE MÁQUINAS POR LÍNEA					
Línea 01			Línea 02		
ITEM	Código	Descripción	ITEM	Código	Descripción
1	FTS-02	Faja Transportadora 02	1	FTS-04	Faja Transportadora 04
2	FTS-03	Faja Transportadora 03	2	FTS-05	Faja Transportadora 05
3	ECS-03	Elevador de Cangilones 03	3	ECS-05	Elevador de Cangilones 05
4	ECS-04	Elevador de Cangilones 04	4	ECS-06	Elevador de Cangilones 06
5	CTS-05	Cadena Transportadora 05	5	CTS-08	Cadena Transportadora 08
6	SEC-01	Secadora 01	6	SEC-02	Secadora 02
7	SHC-01	Silo Húmedo 01	7	SHC-04	Silo Húmedo 04
8	SHC-02	Silo Húmedo 02	8	SHC-05	Silo Húmedo 05
9	SHC-03	Silo Húmedo 03	9	SHC-06	Silo Húmedo 06
10	STC-01	Silo Transición 01	10	STC-04	Silo Transición 04
11	STC-02	Silo Transición 02	11	STC-05	Silo Transición 05
12	STC-03	Silo Transición 03	12	STC-06	Silo Transición 06

2.2.7. Activos físicos del área de Secado.

En la **tabla 1** presentada anteriormente se muestra los activos que forman parte de la línea 01 y 02.

²⁵ Tomado de los archivos de la empresa Induamerica Trade S.A.

2.2.7.1. Línea 01.

A continuación, se detalla la función que cumple cada uno de los activos de la Línea 01 en el proceso de secado. Asimismo, en la **figura 14** se aprecia el flujograma que está en el ciclo de secado de la línea 01.

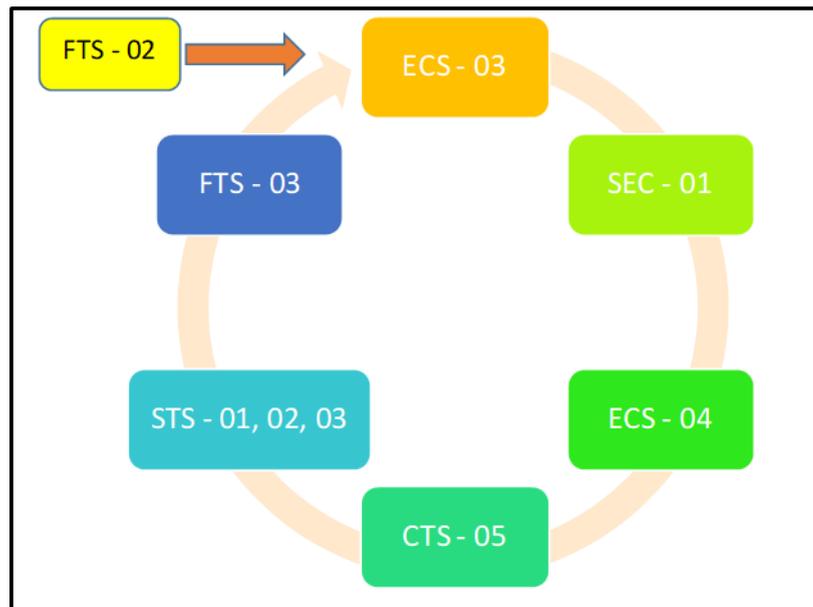


Figura 14: Flujograma de Secado Línea 01²⁶

Faja Transportadora 02: Su función es recepcionar y al mismo tiempo transportar el arroz de los silos húmedos 01, 02 y 03 (silos donde se da aireación para temperar el arroz), y descargarlo en el Elevador de cangilones 03.

Elevador de Cangilones 03: La presencia de este elevador es muy importante ya que está encargado de recibir los granos que descarga la faja

²⁶ Elaboración propia.

transportadora 03 e inmediatamente elevarlos y despedirlos de manera centrífuga hacia la secadora 01.

Secadora 01: En esta parte del proceso se va retirando la humedad al grano en el trayecto de descenso hacia el elevador 04. La humedad es retirada por medio de 05 ventiladores axiales situados en la parte lateral de la secadora, estos ventiladores aspiran el aire caliente de los hornos quemadores de biomasa (cascarilla de arroz) logrando que este pase a través de los granos contenidos en la secadora.

Elevador de Cangilones 04: Una vez que los granos dejan la secadora, estos caen por gravedad para ser depositados en los cangilones del elevador 04, el mismo que los eleva para descargarlos en la cadena transportadora 05.

Cadena Transportadora 05: Su función se centra en distribuir los granos que descendieron por los ductos desde el elevador 05 y distribuirlo a lo largo de los silos de transición 01, 02 y 03.

Faja Transportadora 04: Luego que el paddy es llenado en los silos de transición, se abre las compuertas para dejarlo caer hacia la faja transportadora 04 quien se encarga de llevarlo y descargarlo en el elevador de cangilones 03, cerrando de esta manera el ciclo del secado del arroz.

2.2.7.2. Línea 02

En las líneas siguientes se detalla la función que desempeña cada activo de la línea 02 en el proceso de secado. Además, en la **figura 15** se presencia el flujograma el proceso de secado.

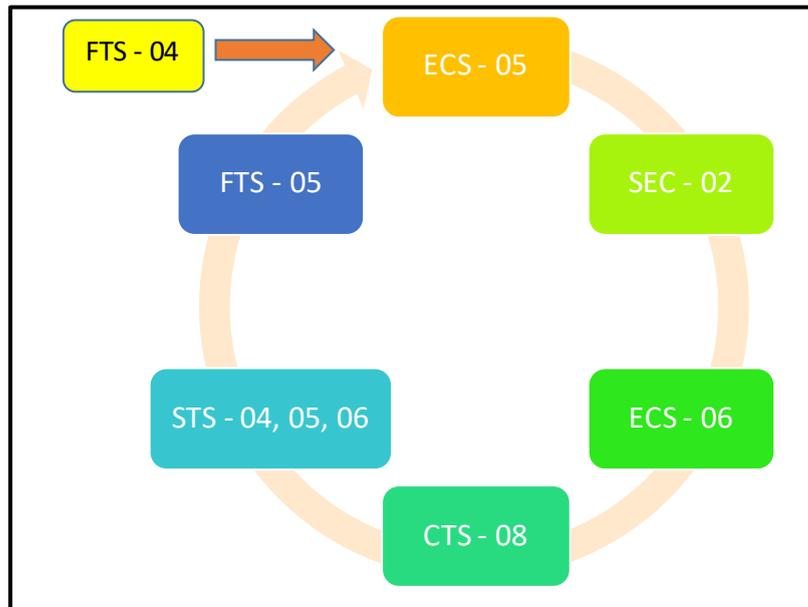


Figura 15: Flujograma de Secado Línea 02²⁷

Faja Transportadora 04: Su función es recepcionar y al mismo tiempo transportar el arroz de los silos húmedos 04, 05 y 06 (silos donde se da aireación para temperar el arroz), y descargarlo en el Elevador de cangilones 05.

Elevador de Cangilones 05: La presencia de este elevador es muy importante ya que está encargado de recibir los granos que descarga la faja transportadora 04 e inmediatamente elevarlos y despedirlos de manera centrífuga hacia la secadora 02.

²⁷ Elaboración propia

Secadora 02: En esta parte del proceso se va retirando la humedad al grano en el trayecto de descenso hacia el elevador 06. La humedad es retirada por medio de 05 ventiladores axiales situados en la parte lateral de la secadora, estos ventiladores aspiran el aire caliente de los hornos quemadores de biomasa (cascarilla de arroz) logrando que este pase a través de los granos contenidos en la secadora.

Elevador de Cangilones 06: Una vez que los granos dejan la secadora, estos caen por gravedad para ser depositados en los cangilones del elevador 06, el mismo que los eleva para descargarlos en la cadena transportadora 05.

Cadena Transportadora 08: Su función se centra en distribuir los granos que descendieron por los ductos desde el elevador 06 y distribuirlo a lo largo de los silos de transición 04, 05 y 06.

Faja Transportadora 05: Luego que el paddy es llenado en los silos de transición, se abre las compuertas para dejarlo caer hacia la faja transportadora 04 quien se encarga de llevarlo y descargarlo en el elevador de cangilones 06, cerrando de esta manera el ciclo del secado del arroz.

Como se puede apreciar en ambos flujogramas y la descripción de funciones de activos, tanto de la línea 01 como en la 02, el proceso se vuelve repetitivo hasta obtener un promedio de humedad homogénea de los granos del 12,5%, la cual es ideal para evitar la germinación de las semillas y reproducción de hongos, además señalar que esta es la humedad ideal para evitar el rompimiento de los granos al momento de pasar por las descascaradoras.

2.2.8. Sistema de Extracción Localizada.

La importancia de disponer de aire limpio y sin contaminar en el ambiente de trabajo industrial es bien conocida. La industria moderna, con su complejidad de operaciones y procesos, utiliza un número creciente de sustancias y preparados químicos muchos de los cuales poseen una elevada toxicidad. El empleo de dichos materiales puede dar lugar a que en el ambiente de trabajo estén presentes, en concentraciones que excedan los niveles de seguridad, partículas, gases, vapores y/o nieblas. El estrés térmico puede también originar ambientes de trabajo inseguros o incómodos. Una ventilación eficaz y bien diseñada ofrece una solución a estas situaciones, en las que se requiere la protección del trabajador. La ventilación puede también ser útil para controlar olores, humedad y otras condiciones ambientales indeseables.

Los sistemas de extracción localizada se componen de hasta cuatro tipos de elementos básicos: el elemento de captación, el sistema de conductos, el depurador y el ventilador. El objetivo del elemento de captación es captar el contaminante atrapándolo en una corriente de aire dirigida hacia dicho elemento, que en lo sucesivo denominaremos genéricamente campana. Para transportar el aire contaminado hasta el depurador, cuando existe, o hasta el ventilador, es necesario disponer de un sistema de conductos. En el depurador el contaminante es separado del aire. El ventilador ha de vencer todas las pérdidas debidas al rozamiento, la entrada a la campana y las uniones de conductos y, al mismo tiempo, producir el caudal de aire previsto. A la salida del ventilador existe un conducto dispuesto en tal forma que el aire descargado por el no sea reintroducido en el local por la impulsión de aire en el mismo

2.2.9. Tamaño del material particulado.

Tabla 2: Clasificación de partículas según su tamaño²⁸

Contaminante	Definición	Rango de Tamaño	Procesos
Naturales o bioaerosoles	Virus	0,003 - 0,06 μm	Naturales
	Bacterias	0,4 - 5 μm	
	Esporas de hongos	2 - 10 μm	
	Polen	10 - 100 μm	
	Partículas cósmicas	0,25 - 147 μm	
Polvo	Pequeña partícula sólida proveniente del quiebre de una partícula grande	0,25 - 100 μm	Molienda Esmerilado Taladrado Explosiones
Humos	Suspensión de particulado. Se aglomeran para formar hollín, manchan	Menores a 0,5 μm	Combustiones Incompletas Aerosoles
Emanaciones o fumarolas	Condensación de vapores aglomeradas forman polvos	0,1 - 1 μm	Condensación Reacciones Químicas
Vapores	Líquidos en suspensión (estado gaseoso)	Se expande, tamaño no definido, son pequeños, menores a 0,1 μm	Vapor de Agua Solventes Pegamentos
Gases	Fluido amorfo que suele estar en este estado	Se expande, tamaño no definido, son pequeños, menores a 0,1 μm	Gases en general

2.2.10. Velocidad de captura.

Se denomina velocidad de captura a la velocidad mínima del aire, producida por la campana, que es necesaria para capturar y dirigir hacia ella el contaminante. Estas velocidades dependerán básicamente del tipo de contaminante concentrado en el aire, los valores sugeridos por la literatura técnica se detallan en la **tabla 3**.

²⁸ (Alden, 1982)

Tabla 3: Rango de Velocidades de Captura.²⁹

Dispersión de la Contaminación	Casos de aplicación	Velocidad de Captura m/s
Liberado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo	Evaporación desde depósitos, desengrase.	0,25 - 0,50
Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo	Cabinas de pintura, llenado de recipientes, transferencia entre cintas transportadoras a baja velocidad, soldadura, recubrimientos superficiales, pasivado.	0,50 - 1,01
Generación activa en una zona de rápido movimiento de aire	Cabinas de pintura poco profundas, llenado de barriles, carga de cintas transportadoras, machacadoras.	1,00 - 2,50
Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido de aire	Desbarbado, chorreado abrasivo, desmoldeo en fundiciones.	2,50 - 10,0

La elección de los límites en el rango de velocidad de captura, dependerá de las condiciones presentes en el recinto en el cual se encuentra la instalación.

Los límites inferiores son utilizados si las condiciones debajo de la campana presentan corrientes de aire mínimas o favorables para la captura del contaminante, asimismo, si la concentración de toxicidad es relativamente baja o únicamente molesta, también si la producción de contaminantes es baja o intermitente y si la campana es de gran tamaño o con una gran masa de aire en movimiento. Por el contrario, considerar el límite superior si se presenta corrientes distorsionantes en el local, contaminantes de alta toxicidad, gran producción de contaminantes continuamente y además si la campana es pequeña únicamente para control local.

2.2.11. Velocidad de transporte.

La velocidad de transporte se presenta en los conductos inmediatamente después de la campana de extracción, esta velocidad deberá ser tal que

²⁹ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

minimice la fricción y se evite por todos los medios la acumulación de sólidos, si los hubiera, dentro del sistema. Asimismo, es importante notar que, si se está transportando cualquier tipo de harina, grano, aserrín, metal o cualquier tipo de elemento que tenga efecto electrostático se deberá tomar las precauciones del caso debido a que se podría presentar algún incendio o explosión. También se deberá tomar en cuenta un recubrimiento y una velocidad adecuada si se está transportando algún fluido de fácil adherencia o que pueda formar condensado, el que puede ser dependiendo del caso corrosivo y tóxico en determinadas concentraciones. (Flores Morales, 2009)

Tabla 4: Rango de Velocidades mínimas de transporte en ductos.³⁰

Naturaleza del Contaminante	Ejemplos	Velocidad de Diseño (m/s)
Vapores, gases y humos	Todos los vapores, gases y humos	5,00 - 10,0
Fumarolas	Humos de soldadura	10,0 - 12,5
Polvo muy fino y ligero	Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco.	12,5 - 15,0
Polvos secos y polvillo	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero.	15,0 - 20,0
Polvo ordinario	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (sacos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvos de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de silice, manejo de materiales pulverulentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza, polvo en el embalado y pesado de amianto en industrias textiles.	17,5 - 20,0
Polvos pesados	Polvo de aserrado (pesado y húmedo), vitruta metálica, polvo de demoldeo en fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado de fundición, polvo de plomo.	20,0 - 22,5
Polvo pesado húmedo	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir (pegajosos)	> 22,5

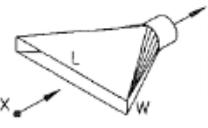
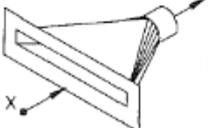
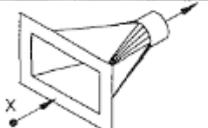
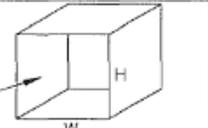
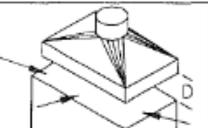
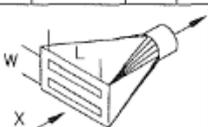
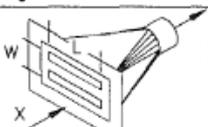
³⁰ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

2.2.12. Campanas.

Es el primer elemento que forma parte de un sistema de extracción localizada, es aquí donde se da el primer contacto entre el material particulado a extraer y el sistema de aspiración.

Existen distintos tipos de campanas las cuales se muestran en la **figura 15**, además se indica las ecuaciones de caudal/velocidad. Aunque se construyen en una amplia variedad de configuraciones, el tipo de campana a emplear dependerá de las características físicas del equipo o la instalación, del mecanismo de generación de contaminante, de la posición relativa del equipo y el trabajador³¹.

³¹ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

HOOD TYPE	DESCRIPTION	ASPECT RATIO, W/L	AIR FLOW
	SLOT	0.2 OR LESS	$Q = 3.7 LVX$
	FLANGED SLOT	0.2 OR LESS	$Q = 2.6 LVX$
	PLAIN OPENING	0.2 OR GREATER AND ROUND	$Q = V(10X^2 + A)$
	FLANGED OPENING	0.2 OR GREATER AND ROUND	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$
	BOOTH	TO SUIT WORK	$Q = VA = VWH$
	CANOPY	TO SUIT WORK	$Q = 1.4 PVD$ SEE FIG. VS-99-03 P = PERIMETER D = HEIGHT ABOVE WORK
	PLAIN MULTIPLE SLOT OPENING 2 OR MORE SLOTS	0.2 OR GREATER	$Q = V(10X^2 + A)$
	FLANGED MULTIPLE SLOT OPENING 2 OR MORE SLOTS	0.2 OR GREATER	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$

AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

HOOD TYPES

DATE 4-96

FIGURE 3-11

Figura 16: Tipos de campanas³²

³² (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

Las cabinas por ejemplo son campanas que encierran total o parcialmente el proceso o el punto de generación del contaminante. Es recomendable tener el espacio totalmente cerrado ya que los movimientos de aire generados por otras causas pueden distorsionar el flujo conducido por la campana y requerir caudales de aire superiores a fin de superar dichas distorsiones. La eliminación de esas posibles causas de esos movimientos de aire es un factor importante para lograr un control efectivo del contaminante sin tener que recurrir a caudales de aspiración excesivos e incurrir en los elevados costes asociados a ellos. En la izquierda de la **figura 17** se muestra un encerramiento de operaciones de campanas para fajas transportadoras.

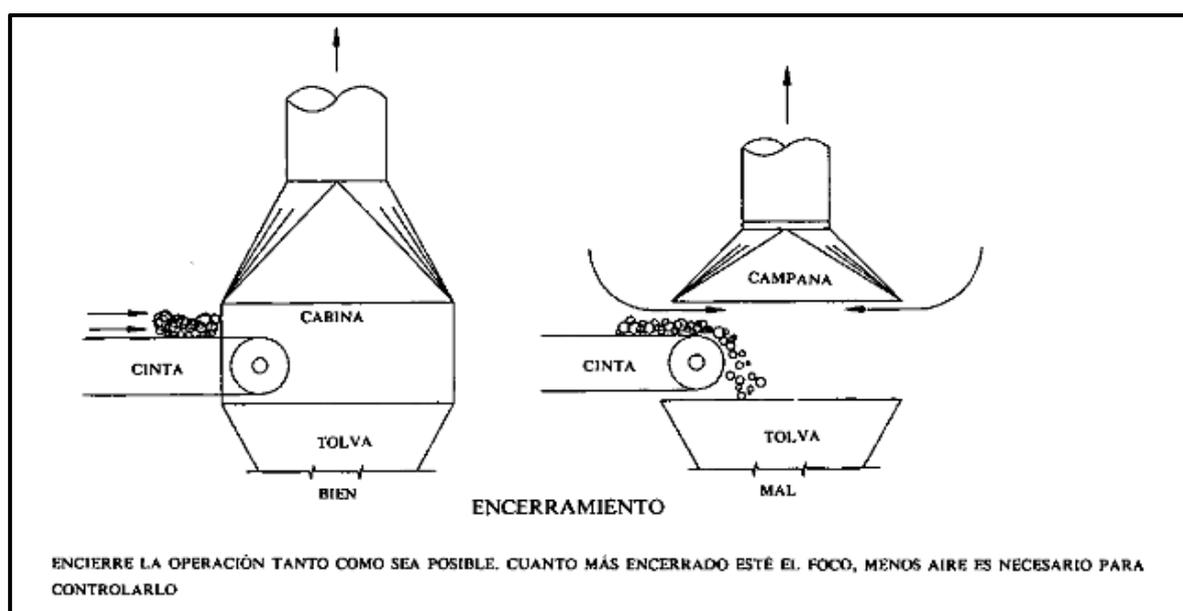


Figura 17: Encerramiento en descargas de cintas transportadoras.³³

³³ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

Por otro lado, cuando se trate de agentes químicos, gases de emanación nocivos o tóxicos la campana debe colocarse de modo que se evacúe fuera del espacio de respiración de los operarios tal como lo presenta la **figura 18**.

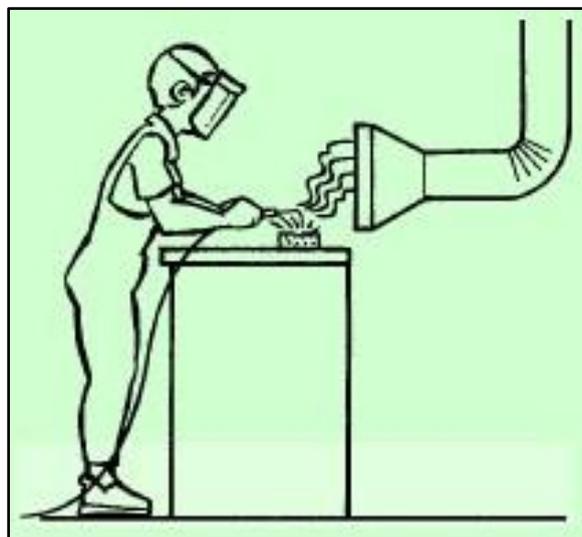


Figura 18: Sistema de extracción para contaminantes nocivos.³⁴

Otro aspecto muy importante a considerar en la campana es la presencia de una pestaña o brida la cual rodea la campana, esto fue investigado empíricamente en una serie de experimentos realizado en la Escuela de Salud Pública de Harvard por Joseph Dalla Valle (1930), quien midió las superficies de velocidad y las líneas de flujo creadas delante de varias formas básicas de campanas operando bajo succión. Él, estudió las pestañas en campanas cuadradas, rectangulares y redondas. Este trabajo generó una cantidad de datos concernientes a la naturaleza de patrones de flujo de aire delante de estas formas simples de la campana, en la **figura 19** y **figura 20** se muestra los resultados de su tesis. La tesis muestra las medidas de las superficies de velocidad y las líneas de flujo en frente de un plano de 8 pulgadas de abertura

³⁴ <http://www.okna-udm.ru/campana-de-extraccion-localizada/>

cuadrada y un gráfico similar de la misma campana con una pestaña de 5 pulgadas está mostrada en la **figura 20**.

La velocidad de la línea central para la campana sin pestaña **figura 19** disminuye rápidamente con relación a la distancia de la cara de la campana. La velocidad es reducida al 50% de la velocidad de la cara a una distancia de 2,25 pulgadas, o en uno al diámetro del ducto. La reducción en la velocidad con la distancia es mucho más severa en puntos fuera de la línea central; por ejemplo, a lo largo del borde del ducto la velocidad cae a 50% del valor a una distancia de 1,25 pulgadas delante de la campana y cae a 10% a una distancia de 6,75 pulgadas.

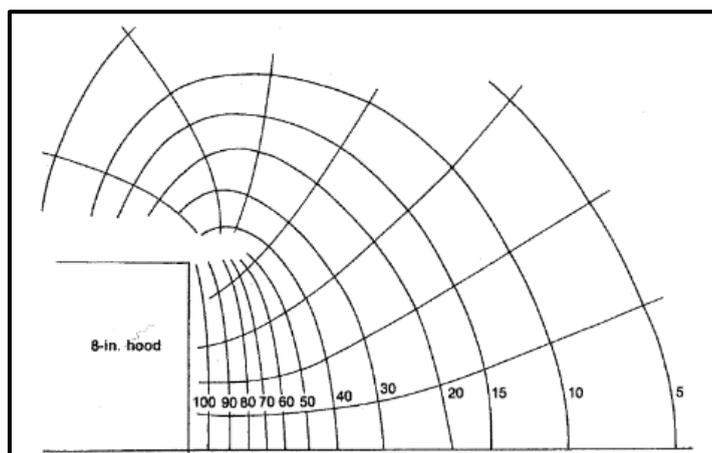


Figura 19: Campana sin pestaña³⁵

El mejoramiento ganado por la adición de la pestaña es visible en la **figura 20**, ahora todo el flujo de aire está impedido de fluir detrás de la campana; la misma cantidad de aire que fluye ahora es succionado de en frente de la campana. Esto mejora el alcance de la campana, a fin de que la velocidad de la línea

³⁵ (Burgess, Ellenbecker, & Treitman, 2004)

central caiga a 10% de la velocidad de cara a una distancia de 9 pulgadas en vez de 8 pulgadas como ocurrió sin pestaña.

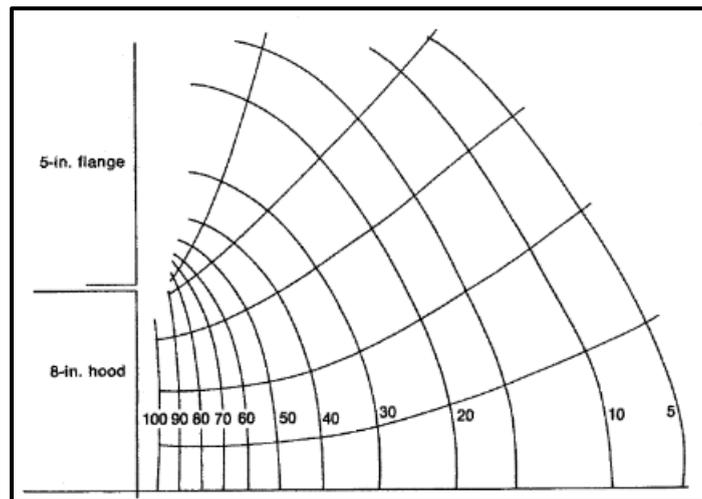


Figura 20: Campana con pestaña³⁶

Por otro lado, se debe tener en cuenta los parámetros asociados a la geometría de la campana tales como:

Cara de Campana: Relacionada con la superficie formada por el largo y ancho de la campana.

Transición: Espacio comprendido entre la cara de la campana y el ducto de transporte.

Ángulo de progresión: Es el ángulo formado por la abertura de la campana, se considera el ángulo mayor en el caso de las campanas rectangulares.

³⁶ (Burgess, Ellenbecker, & Treitman, 2004)

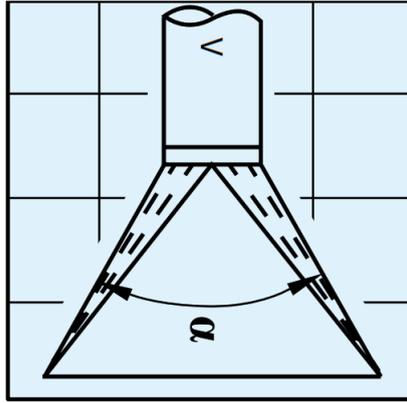


Figura 21: Ángulo de progresión en campanas.³⁷

Pérdida de carga en campanas:

La conservación de la energía exige tener en cuenta todos los cambios de energía que se producen a medida que el aire fluye de un punto a otro. En la **figura 22** se puede apreciar el ingreso de aire a una campana.

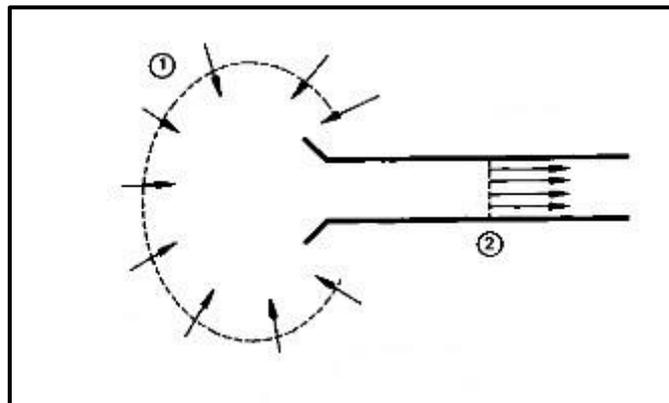


Figura 22: Ingreso de aire a la campana.³⁸

$$PT_1 = PT_2 + h_p \quad (1)$$

$$PE_1 + PD_1 = PE_2 + PD_2 + h_p \quad (2)$$

³⁷ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

³⁸ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

Siendo:

PT_1 : Presión total en 1

PT_2 : Presión total en 2

PE_1 : Presión estática en 1, mmcda

PD_1 : Presión dinámica en 1, mmcda

PE_2 : Presión estática en 2, mmcda

PD_2 : Presión dinámica en 2, mmcda

h_p : Pérdida de energía sufrida por el aire mientras fluye desde un punto al otro

Si no existieran pérdidas asociadas a la entrada de la campana, la aplicación de la conservación de la energía da:

$$PE_1 + PD_1 = PE_2 + PD_2 \quad (3)$$

Este es el bien conocido principio de Bernoulli de la mecánica de fluidos.

El subíndice 1 se refiere a las condiciones del local, donde la Presión Estática es la atmosférica ($PE_1=0$) y la velocidad del aire puede admitirse que es muy próxima a cero ($PD_1=0$). Por ello, el principio de conservación de la energía conduce a:

$$PE_2 = -PD_2 \quad (4)$$

En realidad, se producen pérdidas en la entrada de la campana. Estas pérdidas en la entrada (hc) se expresan normalmente mediante un factor de pérdidas (F_c) multiplicado por la Presión Dinámica en el conducto de manera que:

$$(hc = F_c \times PD) \quad (5)$$

Donde:

$h_c =$ Pérdidas en la entrada de la campana, mmcda

$F_c =$ factor de pérdidas en la entrada

$PD =$ Presión dinámica, mmcda

El principio de conservación de la energía se expresa entonces:

$$PE_2 = -(PD_2 + h_c) \quad (6)$$

El valor absoluto de PE_2 se denomina succión estática de la campana (PE_c). Por lo tanto:

$$PE_c = -PE_2 = PD_2 + h_c = PD_2 + F_c \times PD \quad (7)$$

2.2.13. Sistema de Conductos.

Inician inmediatamente después de la campana, son los encargados de transportar el gas hacia el depurador. En el sistema de conductos podemos encontrar los codos, las uniones, ensanchamientos, reducciones y los conductos rectos.

Para el cálculo del sistema de conductos se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Establecer la velocidad mínima en los conductos teniendo en cuenta las velocidades de transporte indicadas.
2. Calcular la sección del conducto dividiendo el caudal de diseño por la velocidad mínima. Para sistemas que transporten materia particulada se debe elegir el conducto comercial disponible con la sección inmediatamente inferior

a la calculada con el fin de asegurar que la velocidad real sea superior a la mínima necesaria.

3. Determinar, a partir del esquema del trazado de la red de conductos, la longitud de cada tramo, el número y tipo de uniones y codos necesarios. Un tramo de conducto se define como un conducto de diámetro uniforme que une dos puntos de interés, tales como campanas, puntos de unión, entrada al ventilador, etc. La longitud a considerar en el diseño es la longitud medida sobre el eje del conducto.

Método de Diseño:

La pérdida de carga debida al rozamiento y a los accesorios puede ser calculada por el método de la presión dinámica o por el de la longitud equivalente tal como lo establece la ACGIH. En el presente proyecto de investigación se aplicará el método de la presión dinámica por lo que es mucho más rápido, trata todas las pérdidas, incluyendo las entradas a la campana de forma similar y además tiene la ventaja de reajustar los tamaños de los conductos.

Método de la Presión Dinámica.

Este método se basa en el hecho de que todas las pérdidas de carga, por rozamiento en conductos y resistencia se forma por desprendimientos en accesorios y además están en función de la presión dinámica, y pueden ser calculadas multiplicando la presión dinámica por un factor.

Los factores en uniones, codos y conductos rectos se indican en los **anexos 04, 05 y 06** respectivamente. De esta manera solo es preciso establecer al inicio

del proceso de diseño los valores de los factores de pérdidas de codos y uniones. Para mayor comodidad, los factores están incluidos en la hoja de cálculo.

En el **anexo 06** se presenta un gráfico de pérdidas por fricción aplicable con este método. El gráfico indica el factor de pérdidas por metro de longitud de conducto recto de chapa galvanizada y obedece a la ecuación:

$$H_f[PD/m] = 0,0155 \frac{V^{0.533}}{Q^{0.612}} = \frac{27.8}{Q^{0.079} D^{1.066}} \quad (8)$$

Donde:

H_f = Factor de pérdidas por metro.

V = Velocidad, m/s

Q = Caudal, m³/s

D = Diámetro, mm

Las etapas que se indican a continuación permiten el cálculo de la pérdida de carga total de un tramo de conducto que empieza en una campana:

1. Calcular la velocidad real dividiendo el caudal por la sección del conducto disponible comercialmente. Calcular la presión dinámica correspondiente a partir de la ecuación:

$$PD = \left[\frac{V}{4.043} \right]^2 \quad (9)$$

Donde:

PD = Presión dinámica, mmcda.

V = Velocidad real, m/s

2. Una vez obtenida la PD , es posible calcular la succión en la campana o pérdida de carga en la entrada de la campana hc de la ecuación 5.
3. Multiplicar la longitud de diseño del conducto por el factor de pérdida por unidad de longitud obtenido a partir de la **ecuación 8**.
4. Determinar el número y tipo de accesorios (codos y uniones) en el tramo. Para cada tipo de accesorio hay que determinar el factor de pérdidas, y multiplicarlo por el número de accesorios. El factor de pérdida para uniones se muestra en el **anexo 04** y para codos en el **anexo 05**.
5. Sumar los resultados de las etapas 3 y 4, y multiplicarlo por la presión dinámica en el conducto. El resultado es la pérdida de carga del tramo en mmcda.
6. Sumar el resultado de la etapa 5 a la succión de la campana (PEc).
7. También se debe sumar cualquier otra pérdida de carga que pueda darse en el tramo, en este caso de investigación se debe sumar la pérdida de carga generada por el sistema de limpieza mangas filtro, expresada en mmcda. El resultado es el requerimiento total de energía, expresada en términos de presión estática, necesario para hacer circular el caudal de diseño a través del tramo.

Distribución de Caudal:

En un sistema de múltiples conductos secundarios que llegan hacia el principal es preciso prever la repartición correcta del caudal total entre los conductos secundarios.

La razón es que el aire siempre circula por el camino de menor resistencia. En la práctica siempre se producirá un equilibrio en las uniones, es decir, el caudal

total de aire aspirado se distribuirá de forma automática entre los diferentes caminos de acuerdo a las pérdidas de carga de cada uno de ellos. Para conseguir que la repartición de caudales coincida con los valores de diseño en cada campana, se debe conseguir que para todos los caminos (conductos) que confluyen en una unión el valor calculado de la presión estática sea el mismo. Para lograr este objetivo, tenemos el método de la presión dinámica cuyo fin es que en en cada campana del sistema, el caudal sea el de diseño y que las velocidades en los conductos secundarios y el conducto principal sean las deseadas.

Procedimiento del método equilibrado por diseño:

Este procedimiento prevé un sistema diseñado de forma tal que se consigue el reparto adecuado de los caudales sin utilizar compuertas de regulación. A menudo se designa como “Método de equilibrado por presión estática”. En este tipo de diseño, el cálculo se inicia en la campana más alejada del ventilador y se avanza de conducto secundario a conducto principal y de cada sección de conducto principal a la siguiente sección hasta alcanzar el ventilador. En cada unión, la presión estática necesaria para lograr el caudal de diseño en una corriente debe ser igual a la presión estática en la corriente de aire a la que se une la anterior. La presión estática se equilibra eligiendo el diámetro del conducto, el radio de los codos, etc., adecuadamente tal como se detalla más adelante.

Primeramente calculamos la pérdida de carga de cada conducto secundario, a partir de los valores de diseño, desde la campana de captación hasta el

punto de unión con el conducto principal. En cada unión la presión estática calculada para los dos conductos confluyentes debe ser la misma, de no ser así se presentan los siguientes casos:

1. Cuando la relación entre la PE más baja y la más alta sea inferior a 0,8 tal como se presenta en la **ecuación 10**.

$$\frac{PE_{baja}}{PE_{alta}} < 0,80 \quad (10)$$

Se rediseña el conducto con PE más baja. El rediseño puede consistir en modificar el diámetro del conducto, seleccionar accesorios diferentes y/o modificar el diseño de la campana.

2. Cuando la relación entre las presiones estáticas para dos conductos confluyentes es menor o igual a 0,80 y menor a 0,95 como lo muestra la **ecuación 11**:

$$0,80 \leq \frac{PE_{baja}}{PE_{alta}} < 0,95 \quad (11)$$

el equilibrio puede lograrse aumentando el caudal del conducto con menor resistencia. El nuevo caudal se calcula con la **ecuación 12**, teniendo en cuenta que la pérdida de carga es proporcional a la presión dinámica y por lo tanto es proporcional al cuadrado del caudal, esto es:

$$Q_{corregido} = Q_{diseño} \sqrt{\frac{PE \text{ en la unión}}{PE \text{ calculada en el tramo}}} \quad (12)$$

3. Cuando la relación entre las presiones estáticas está comprendida entre 0,95 y 1,00 tal como lo presenta la **ecuación 13**:

$$0,95 \leq \frac{PE_{baja}}{PE_{alta}} < 1,00 \quad (13)$$

la corrección de caudal es menor del 2,5% y generalmente puede ser despreciada. La diferencia de presiones no se tiene en cuenta y se considera que los dos conductos están equilibrados a la *PE* correspondiente a la mayor de ambas (Presión estática de control).

Correcciones por cambios de velocidad:

En muchos puntos de un sistema de ventilación se producen cambios de velocidad debido a las limitaciones impuestas por la selección de los diámetros de conductos que estén disponibles en el comercio o por las necesidades de equilibrar el sistema. Como ya se ha indicado, las aceleraciones o desaceleraciones de poca magnitud quedan compensadas de forma automática en los sistemas bien diseñados y con accesorios adecuados. Sin embargo, existen circunstancias especiales en las que se debe conocer las pérdidas o recuperaciones de presión que pueden producirse, ya que pueden suponer ventajas o inconvenientes en el funcionamiento final del sistema.

Uniones de conductos secundarios al conducto principal:

En ocasiones la velocidad en el conducto principal después de una unión es superior a la mayor de las velocidades en los conductos que confluyen en la unión. Si la diferencia es importante, el incremento de la presión dinámica deberá ser compensado con una disminución en la presión estática. Se deben

introducir correcciones cuando la diferencia entre la presión dinámica en el conducto principal y la presión dinámica resultante de los dos conductos de la unión es superior a 2,5 mmmcda.

La corrección se realiza calculando en primer lugar la presión dinámica resultante (PD_r) que corresponde a una velocidad ficticia de las dos corrientes de aire que llegan a la unión. Este valor se calcula aplicando la ecuación básica de la presión dinámica, $PD = (V/4,043)^2$, utilizando como valor de la velocidad la resultante de dividir la suma de los caudales que llegan a la unión por la suma de las áreas de los dos conductos que se unen:

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

Siendo:

PD_r = presión dinámica resultante en la unión

Q_1 = caudal en el conducto n° 1

Q_2 = caudal en el conducto n° 2

A_1 = Área en el conducto n° 1

A_2 = Área en el conducto n° 2

Se supone que los conductos 1 y 2 están equilibrados en la unión, esto es $PE_1 = PE_2$. Si PD_3 es menor PD_r , se produce una desaceleración y no es preciso realizar correcciones. Si PD_3 es mayor que PD_r , se produce una aceleración y la diferencia entre PD_3 y PD_r es la pérdida de PE necesaria para compensar el aumento de energía cinética para pasar de PD_r a PD_3 .

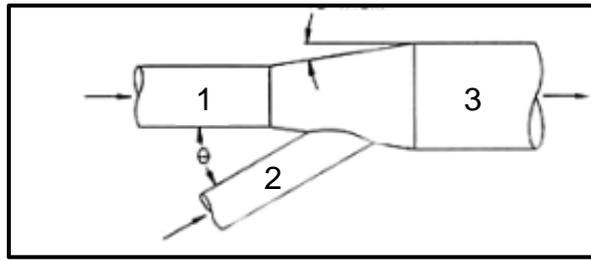


Figura 23: Unión de conductos laterales a conducto principal.³⁹

2.2.14. Depuradores de Aire.

A continuación, se muestra las distintas tecnologías existentes en el tratamiento del aire previo a ser enviado al ambiente.

Con relación a sistemas de depuración de aire existen cinco clases básicas consideradas como las más importantes de aplicación industrial.⁴⁰

- a) Cámara de Sedimentación por Gravedad.
- b) Separadores Ciclónicos.
- c) Colectores Húmedos.
- d) Filtros de Tela.
- e) Precipitador Electrostático.

2.2.14.1. Cámaras de Sedimentación por Gravedad.⁴¹

Los recolectores mecánicos más sencillos son las cámaras de sedimentación, que dependen de la sedimentación gravitacional como un mecanismo de recolección. Las cámaras de sedimentación previenen la abrasión excesiva y la

³⁹ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

⁴⁰ (War & Cecil F, 2002)

⁴¹ (Woodard, 1998)

carga de partículas en los dispositivos primarios, de recolección al remover a las partículas grandes de la corriente del gas. A pesar de las bajas eficiencias de recolección, las cámaras de sedimentación aún se utilizan extensivamente. En particular son útiles para las industrias que también necesitan enfriar la corriente del gas previo al tratamiento en un filtro de tela. Las industrias procesadoras de metales y productos minerales tienen varias aplicaciones para las cámaras de sedimentación. Existen dos tipos principales de cámaras de sedimentación: las cámaras de expansión y la cámara de placas múltiples.

En la cámara de expansión, la velocidad de la corriente de gas es reducida significativamente a medida que el gas se expande hacia el interior de una gran cámara sencilla con tolvas. La reducción en la velocidad permite que las partículas grandes se asienten separándose de la corriente del gas

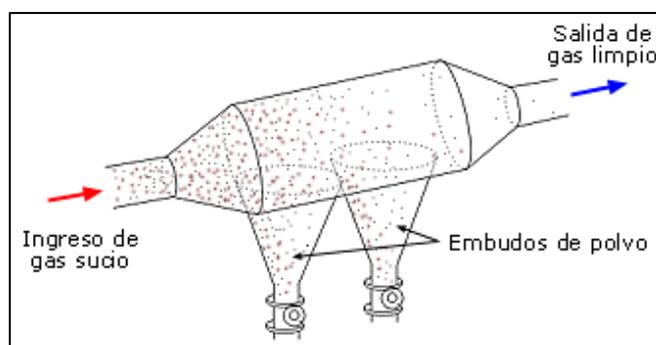


Figura 24: Cámara de Expansión⁴²

Una **cámara de sedimentación con placas múltiples**, es una cámara de expansión, con un número de placas delgadas colocadas a corta distancia entre sí dentro de la cámara, que causan que el gas fluya horizontalmente en medio

⁴² http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/orienta/lecc8/lecc8_3d.html

de ellas. Mientras que la velocidad del gas es incrementada ligeramente en una cámara con placas múltiples, la eficiencia de recolección generalmente mejora debido a que las partículas tienen que recorrer una distancia menor de caída antes de ser recolectadas.

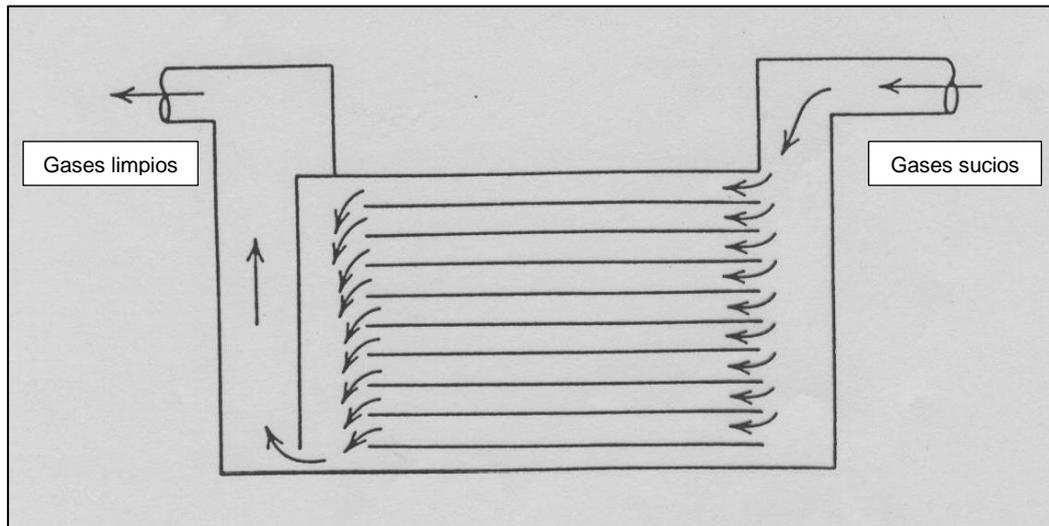


Figura 25: Cámara de Sedimentación con Placas Múltiples⁴³

Ventajas:

- a) Muy efectivas para partículas grandes y densas.
- b) Incremento de la capacidad de sedimentación con el tiempo de residencia del gas en la cámara.
- c) Simplicidad de diseño.
- d) Pocos costes de mantenimiento.
- e) Pérdida de carga baja (0,5-1,3 mbar) (5,1-13,3 mmcda)
- f) Poco gasto energético (1-4 W/m³-min)

⁴³ (Sáenz, 2008)

Desventaja:

- a) Baja eficiencia de recolección de PM10. (menor del 10 por ciento).
- b) A menor diámetro del polvo mayor será el espacio de la cámara.
- c) A medida que la velocidad del gas disminuye dentro de la cámara el volumen de la cámara debe aumentar.
- d) Evitar las altas velocidades para no permitir que el contaminante se vuelva a encarrilar.
- e) Necesidad de espacio grande.
- f) Velocidades en el interior de la cámara inferiores a 10 pies/s (3,04 m/s) y 1 pie/s (0,30 m/s)

2.2.14.2. Separadores Centríugos.⁴⁴

También llamados ciclones, estos utilizan la inercia para remover partículas de una corriente de gas giratoria. Dentro de un ciclón, la corriente de gas es forzada a girar dentro de una cámara de forma generalmente cónica. Los ciclones operan generando un vórtice doble dentro del cuerpo del ciclón. Se imparte un movimiento circular al gas entrante ya sea mediante una entrada tangencial o por medio de vanes giratorios en la entrada axial. El gas desciende por el ciclón en trayectoria espiral cerca de la superficie interior del tubo del ciclón. Al fondo del ciclón, el gas da la vuelta y asciende en trayectoria espiral a través del centro del tubo y hacia afuera por la parte superior del ciclón. En la siguiente imagen se muestra una operación de vórtice doble en un ciclón.

⁴⁴ (Woodard, 1998)

Las partículas en la corriente de gas son forzadas hacia las paredes del ciclón por la fuerza centrífuga del gas girando, pero es obstruida por la fuerza de arrastre de fluidos del gas que viaja a través y hacia afuera del ciclón. Para las partículas que son grandes, el momento inercial contrarresta el momento inercial y causa que las partículas abandonen el ciclón con el gas saliente. La gravedad también causa que las partículas mayores que alcanzan las paredes del ciclón se trasladen hacia abajo y dentro de una tolva al fondo.

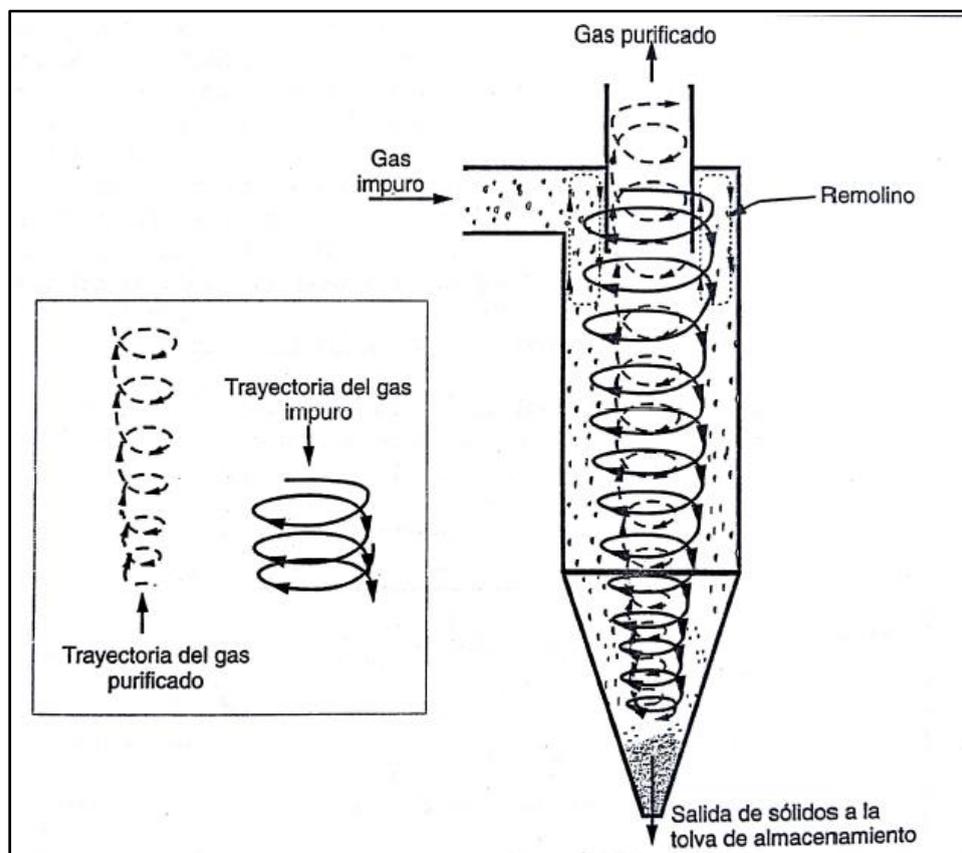


Figura 26: Separador Ciclónico⁴⁵

Ventajas.

- a) Bajo costo de mantenimiento.

⁴⁵ (Orozci barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

- b) Bajo costo de construcción.
- c) Facilidad para ser diseñado.
- d) Aumenta la eficiencia con el incremento de la velocidad dentro del ciclón.
- e) Pérdida de carga no alta (7,5-12,5 mbar) (76,5-127,5 mmca)
- f) Independiente de la temperatura del gas.
- g) Trata grandes cantidades de partículas y polvo.
- h) Alta confiabilidad por ausencia de partes móviles.
- i) Aumento de la eficiencia con la densidad y/o tamaño del material contaminante.
- j) Aumento de eficiencia por la velocidad del ducto de entrada.
- k) Su eficiencia se ve incrementada por la longitud del cuerpo del ciclón.
- l) La eficiencia también aumenta por el número de revoluciones del gas en el ciclón.
- m) Asimismo, incrementará la eficiencia con la uniformidad de la parte interior de ciclón.

Desventajas

- a) Sensibilidad a variaciones de carga.
- b) Sensibilidad a variaciones de flujo.
- c) Necesidad de mucho espacio vertical.
- d) Rendimiento no muy alto 50-80 %.
- e) El del tipo de paletas axiales sufre erosión en las paletas y posible bloqueo de pasajes entre las paletas.
- f) El tamaño y el costo aumenta según aumente la eficiencia.

- g) La mayor limitación es la energía requerida para forzar el gas a través del cuerpo del ciclón.
- h) Decrecimiento de la eficiencia por viscosidad del gas.
- i) La eficiencia también se ve afectada por el diámetro del cuerpo del ciclón, el diámetro de la salida del gas, la superficie del ducto de entrada del gas y la densidad del gas. En específico, esto disminuirá para las partículas finas.
- j) No recomendables para polvos con MP inferior a $5\mu\text{m}$.

2.2.14.3. Colectores Húmedos.

En un colector húmedo, se utiliza un líquido, por lo general agua, para capturar las partículas o para aumentar el tamaño de los aerosoles. En cualesquiera de los dos casos, el tamaño aumentado resultante facilita la remoción del contaminante de la corriente del gas. Partículas finas, tanto líquidas como sólidas, que varían entre $0,1$ y $20\ \mu\text{m}$, se pueden remover de un modo efectivo de una corriente de gas, por medio de colectores húmedos. El fin primordial del dispositivo deberá ser la adecuada dispersión de la fase líquida a fin de obtener un buen contacto entre la fase de las partículas (o de aerosol) y la fase líquida. Los colectores húmedos ofrecen ciertas desventajas que no se encuentran en los equipos secos. Uno de los principales problemas es manipular y disponer de los lodos húmedos que son un producto inherente del proceso. Si el equipo está instalado en el ambiente natural, se deberá considerar el problema de la congelación en tiempo frío. La presencia del agua tiende a aumentar la corrosividad de los materiales. Finalmente, a fin de alcanzar eficiencias altas de colección para las partículas finas, se requiere una buena dispersión de la fase líquida, y esto requiere a su vez un consumo de energía relativamente alto.

Existen tres tipos principales de colectores húmedos: lavadores de cámaras de aspersión, lavadores ciclónicos, lavadores de Venturi.⁴⁶

Lavadores de Cámara de Aspersión.⁴⁷

Son torres de aspersión en las que el gas cargado con partículas entra en la cámara y choca con las gotas de líquido de lavado, producida por boquillas adecuadas situadas a través del espacio que atraviesa el flujo de gas. En general, las cámaras de aspersión llevan siempre un eliminador de neblinas. Pueden también incorporar placas de choque para incrementar el tiempo de contacto gas-líquido y, consiguientemente, aumentar la eficacia del proceso. Los rendimientos que se consiguen en este tipo de lavadores son elevados para tamaños de partícula mayores de 10 μm , se habla incluso de resultados en torno a un 99%, aunque lo más frecuente es que no excedan el 80%. El consumo de líquido de lavado oscila entre 3-16 litros para cada 10 m^3 de gas.

Entre las ventajas de este método podemos citar la capacidad de enfriar y limpiar gases muy calientes y cargados de humedad y la posibilidad de recuperar y neutralizar gases de naturaleza corrosiva. Entre las principales desventajas debemos mencionar, además de la necesidad de tratamiento del efluente líquido generado, problema común a todos los métodos húmedos y que ocasiona importantes costos suplementarios, el bajo rendimiento para partículas de diámetro inferior a 1 μm , la reducción de la fuerza ascensional del

⁴⁶ (War & Cecil F, 2002)

⁴⁷ (Orozci barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

gas, y por tanto de la altura del penacho y los problemas que puedan presentarse por heladas en época de frío.

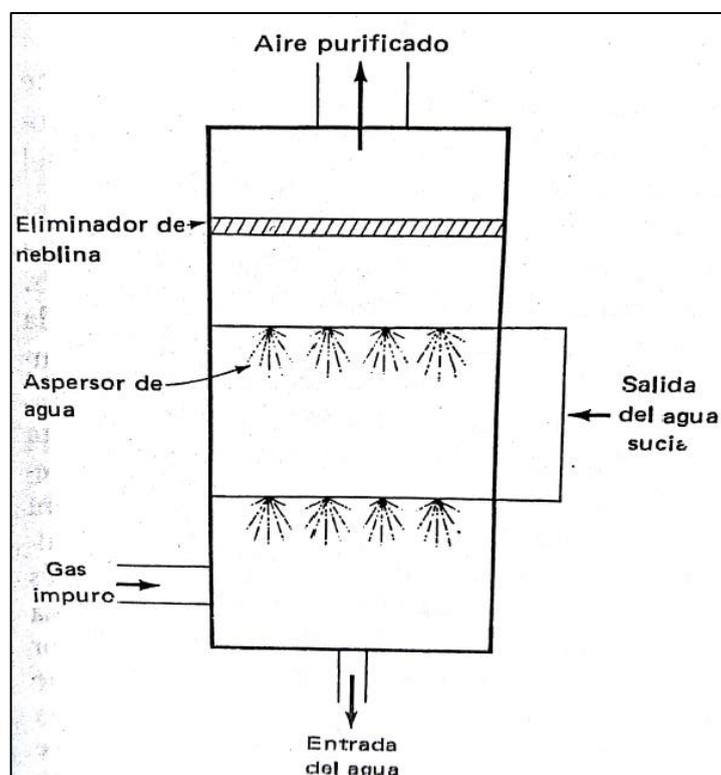


Figura 27: Cámara de Aspersión.⁴⁸

Lavadores Ciclónicos (ciclones húmedos).⁴⁹

Son semejantes a los ciclones secos, pero en este caso se les incorpora una serie de boquillas por las que se pulveriza el líquido de lavado. Las gotitas de líquido cargado de polvo se ven sometidas a una fuerza centrífuga que las lanza contra la pared húmeda del ciclón y fluyen por esta hasta el fondo. El consumo de agua es algo menor que en el caso de las cámaras, oscilando entre 1,5-13 litros por cada 10 m³ de gas tratado. Este tipo de colectores son capaces de

⁴⁸ (War & Cecil F, 2002)

⁴⁹ (Orozci barrenetxea, Pérez Serrano, González Delgado, Rodríguez Vidal, & Alfayate Blanco, 2003)

eliminar partículas del tamaño superior a 2,5 μm con rendimientos relativamente altos, en general en torno a un 80%.

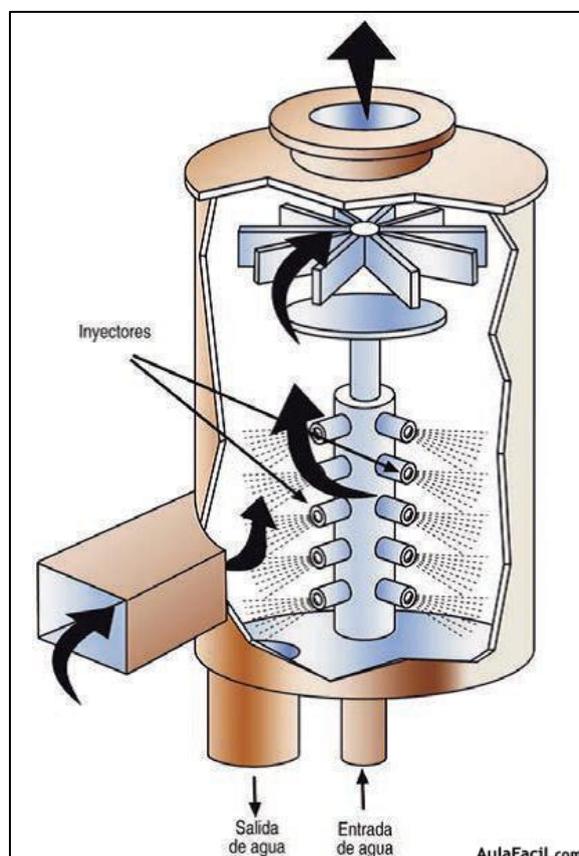


Figura 28: Lavador Ciclónico⁵⁰

Lavadores de Venturi.

Un depurador tipo venturi acelera la corriente del gas de desecho para atomizar el líquido depurador y para mejorar el contacto entre el gas y el líquido. En un depurador tipo venturi, una sección de “garganta” es construida en el interior del ducto la cual fuerza a la corriente del gas a acelerarse a medida que el ducto se estrecha y enseguida se expande. A medida que el gas entra en la garganta

⁵⁰ <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/la-atmosfera-la-envoltura-que-nos-protege/tratamientos-de-efluentes-gaseosos-ii-eliminacion-de-particulas-l36540>

tipo venturi, tanto la velocidad como la turbulencia del gas aumentan. Dependiendo del diseño del depurador, el líquido depurador es rociado dentro de la corriente de gas antes de que el gas se encuentre con la garganta tipo venturi, o en la garganta, o hacia arriba en contra del flujo de gas en la garganta. Entonces, el líquido depurador es atomizado en pequeñas gotas por la turbulencia en la garganta y la interacción entre las gotas y las partículas se aumenta. Algunos diseños usan asperisiones suplementarias atomizadas hidráulicamente o neumáticamente para acrecentar la creación de gotas⁵¹

Después de la sección de la garganta, la mezcla se desacelera, e impactos posteriores ocurren causando la aglomeración de gotas. Una vez que las partículas han sido capturadas por el líquido, la MP humedecida y las gotas de líquido en exceso son separadas de la corriente de gas por una sección de arrastre que suele consistir de un separador ciclónico y/o un eliminador de niebla.⁵²

Los diseños actuales para los depuradores tipo venturi generalmente utilizan el flujo vertical de gas hacia abajo a través de la garganta tipo venturi e incorporan tres puntos principales: (1) una sección de entrada de acercamiento en húmedo o pared inundada para evitar una acumulación de polvo en una intersección entre lo seco y lo húmedo; (2) una garganta ajustable para la garganta tipo venturi para proveer ajuste de la velocidad del gas y la caída de presión; y (3) un codo inundado localizado por debajo del venturi y adelante del separador por arrastre, para reducir el desgaste por las partículas abrasivas. La garganta

⁵¹ (Association, 1992)

⁵² (Corbitt, 1990)

venturi a veces es recubierta con una capa refractoria para resistir la abrasión por las partículas de polvo.⁵³

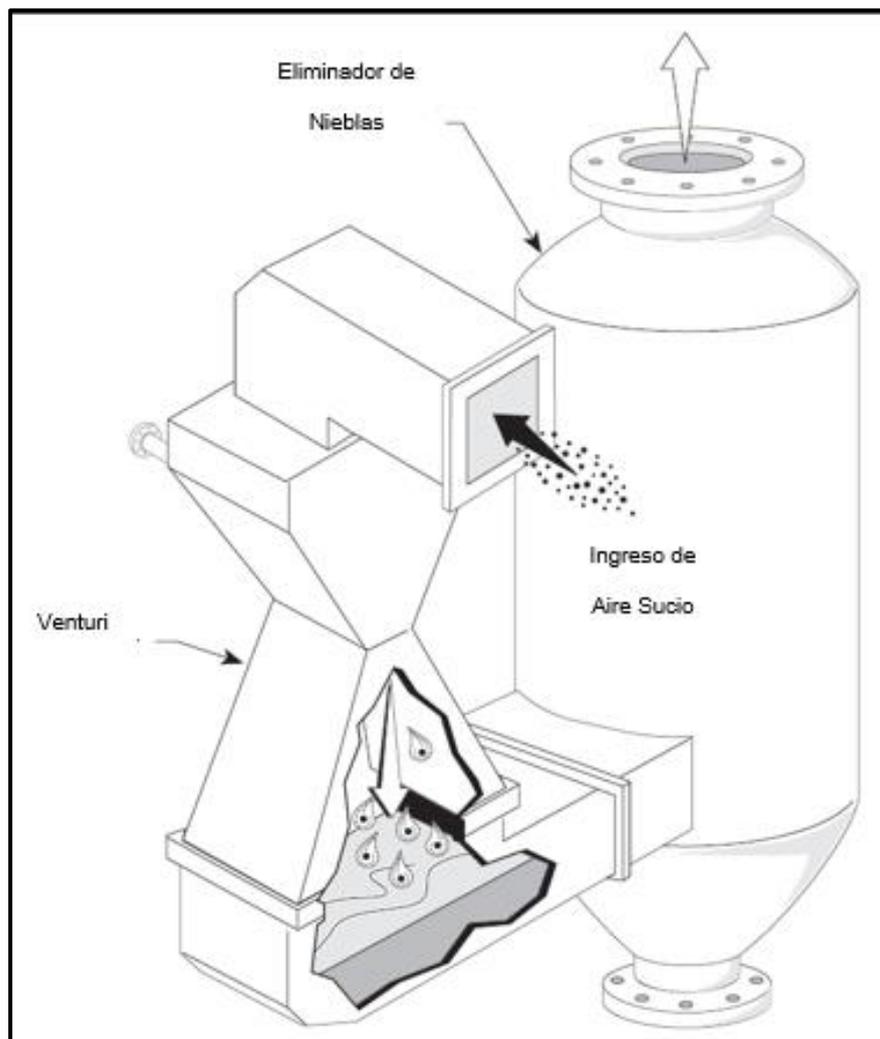


Figura 29: Lavador de Venturi⁵⁴

⁵³ (Perry, 1984)

⁵⁴ https://es.wikipedia.org/wiki/Depurador_h%C3%BAmedo#/media/File:Venturimistelim.gif

2.2.14.4. Filtros de Tela.⁵⁵

Los filtros de tela eliminan las partículas mediante obstrucción, impacto, interceptación, difusión u atracción electrostática. La tela puede estar constituido por cualquier material fibroso, tanto natural como artificial, y puede ser fabricado en forma de tejido de urdimbre y trama, o en forma de fieltro obtenido por un punzonado, batanado o entrelazado. Los tejidos de urdimbre y trama se caracterizan por el espesor del hilo y el peso del tejido por unidad de superficie. Las telas no tejidas (fieltros) se identifican por el espesor y el peso por unidad de superficie. Independientemente de cual sea su forma de construcción, la tela es una masa porosa a través de la cual debe circular el aire a filtrar de forma que las partículas de polvo quedan retenidas en la cara sucia de la tela, y el gas limpio atraviesa la masa filtrante.

La capacidad de la tela para dejar pasar aire a través es la “permeabilidad” que se define como el volumen de aire que pasa a través de la unidad de superficie en la unidad de tiempo con una diferencia de presión de 12,5 mmcd. Los valores normales de permeabilidad para las telas filtrantes habituales están comprendidos entre 7 y 12 m³/ (m²-min).

A igualdad de peso, un fieltro es más eficaz que un tejido ya que el tamaño de los poros, o áreas de paso del aire, es menor. Para un tipo dado de tejido, la eficacia es mayor cuanto menor sea el diámetro de las fibras, mayor el peso por unidad de superficie y mayor la torsión de los hilos. Si en la fabricación de fieltros

⁵⁵ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

se utilizan agujas más finas también se mejora la eficacia. A medida que se aumenta la eficacia filtrante de una tela por cualquiera de estos métodos, se reduce la permeabilidad y la facilidad de limpieza. Una tela con una eficacia de filtración tan alta que resulte difícil de limpiar implica una resistencia muy alta al paso del aire y no es una solución económicamente aceptable. La selección definitiva de una tela filtrante es un compromiso entre eficacia y permeabilidad.

Filtros de Tela limpiados por Agitador.⁵⁶

La agitación ha sido un método popular de limpieza durante muchos años debido a su sencillez tanto como su efectividad. Los filtros de tela grandes requieren agitación mecánica. Para ambos casos, la operación es básicamente la misma. En general, el gas polvoriento entra por un tubo de entrada al filtro de tela limpiado por agitación y las partículas muy grandes son removidas de la corriente cuando se estrellan contra la placa de traba en el conducto de salida y caen dentro de la tolva. El gas cargado de partículas es atraído desde debajo de una placa de celda en el piso hacia dentro de las bolsas de filtro. El gas prosigue desde el interior de las bolsas hacia afuera y a través del tubo de salida. Las partículas son recolectadas sobre la superficie interior de las bolsas y se acumula una pasta en el filtro.

Un mecanismo típico de una unidad de filtro de tela limpiada por agitación mecánica se muestra en la **Figura 30**.

⁵⁶ (Woodard, 1998)

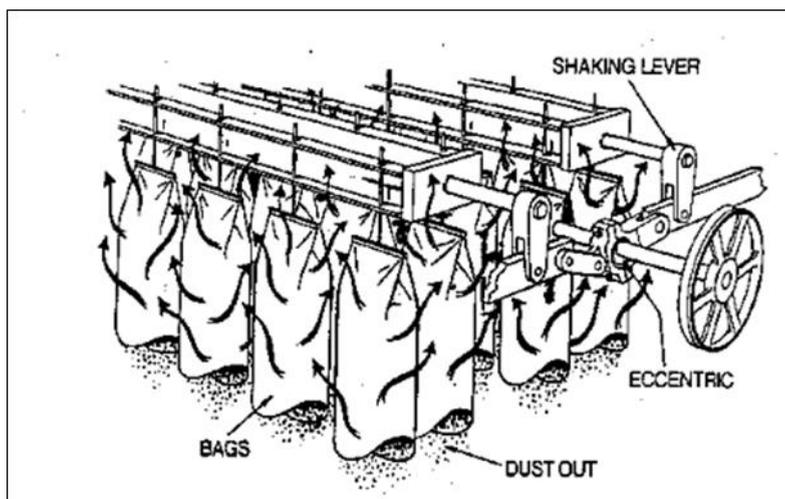


Figura 30: Filtros de tela limpiados por agitador.⁵⁷

En las unidades de agitación mecánica, las partes superiores de las bolsas se encuentran unidas a una barra agitadora. Cuando las bolsas se limpian, la barra se mueve rápidamente, generalmente en una dirección horizontal. Este movimiento flexiona la tela, causando que la pasta de polvo se resquebre y caiga lejos de la tela dentro de la tolva.

Alguna fracción de la pasta del filtro permanecerá sobre el interior de la bolsa de filtración; tal como se discutió en la parte superior, esto es deseable y también necesario para mantener una eficiencia de recolección alta consistentemente. La cantidad de polvo que se remueve durante la limpieza puede ser controlada regulando la frecuencia, la amplitud, y la duración de los ciclos de agitación.

El flujo de gas a través de las bolsas debe ser interrumpido durante el ciclo de limpieza para permitir que la pasta del filtro sea liberada de la tela y para prevenir que el polvo se vaya moviendo a lo largo de la bolsa durante la agitación. Con

⁵⁷ (Woodard, 1998)

el objeto de lograr esto, los filtros de tela limpiados por agitación se diseñan con frecuencia con varios compartimentos separados. Cada compartimento después debe ser aislado del flujo de gas y limpiado mientras los otros compartimentos continúan filtrando la corriente del gas.

Filtro de tela limpiado por aire invertido.⁵⁸

La limpieza por aire invertido es otro método popular de limpieza de filtros de tela que ha sido utilizado extensivamente y mejorado a través de los años. Es un mecanismo de limpieza más suave, pero a veces menos efectivo que la agitación mecánica. La mayoría de los filtros de tela con aire invertido operan de una manera parecida a los filtros de tela limpiados por agitación. Las bolsas están abiertas en el fondo, cerradas en la parte superior y el gas fluye desde el interior hacia el exterior de las bolsas mientras el polvo es capturado en el interior. Sin embargo, en algunos diseños de aire invertido recolectan polvo sobre el exterior de las bolsas. En cualquiera de estos diseños, la limpieza por aire invertido se realiza forzando aire limpio a través de los filtros en la dirección opuesta al flujo de gas polvoriento. El cambio en dirección del flujo de gas causa que la bolsa se pliegue y rompa la pasta del filtro. En la recolección de las pastas anteriores, se permite que las bolsas se plieguen hasta cierto punto durante la limpieza por aire invertido. Por lo general se evita que las bolsas se desplomen por completo mediante algún tipo de soporte, tal como anillos cosidos dentro de las bolsas. El soporte permite que la pasta de polvo se desprenda de las bolsas y caiga dentro de la tolva. El desprendimiento de la pasta también es auxiliado

⁵⁸ (Woodard, 1998)

por el flujo invertido del gas. Debido a que las telas afelpadas retienen el polvo mejor que las telas tejidas y, por lo tanto, son más difíciles de limpiar, las felpas no son usadas en los sistemas de aire invertido.

Existen varios métodos de revertir el flujo a través de los filtros. Tal como con los filtros de tela limpiados con agitador, la estrategia más común es colocar compartimentos dentro del filtro de la tela de manera que cada compartimento pueda ser aislado y limpiado por separado mientras que los otros compartimentos continúan a tratar el gas polvoriento. Un método para proporcionar el aire de flujo invertido es mediante el uso de un ventilador secundario o de gas limpiado proveniente de los otros compartimentos.

Un diseño típico de un compartimento de un filtro de tela limpiado por aire invertido se muestra en la siguiente **Figura 31**.

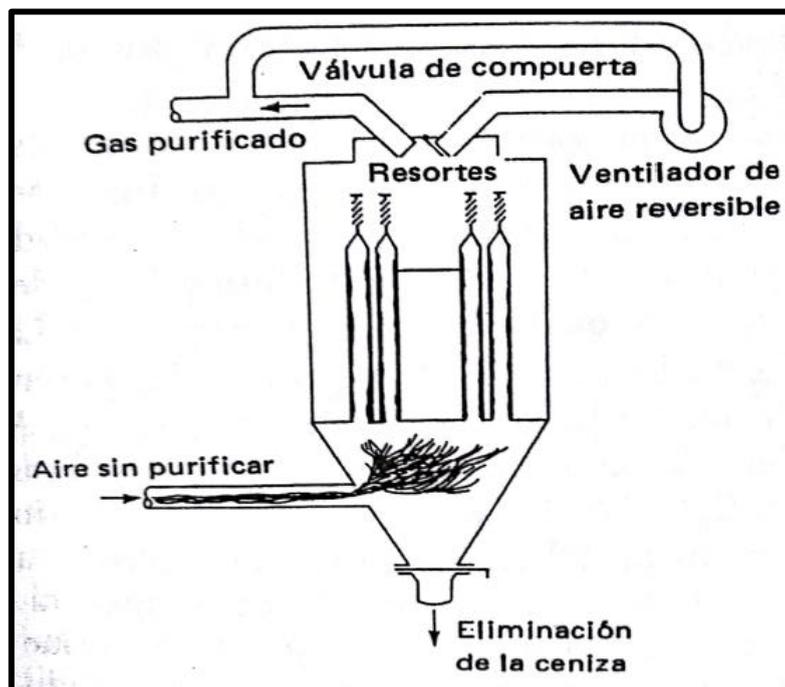


Figura 31: Limpieza de filtro con aire invertido.⁵⁹

⁵⁹ (War & Cecil F, 2002)

Filtro de tela limpiado por chorro pulsante o pulsorreactor.

La limpieza de los filtros de tela por medio del pulsorreactor (chorro pulsante) es relativamente nueva en comparación a otros tipos de filtros de tela, ya que sólo han sido usados durante los últimos 30 años. Este método de limpieza ha ido ganando popularidad consistentemente porque puede tratar cargas altas de polvo, operar a una caída de presión constante, y ocupar menos espacio que otros tipos de filtros de tela. Los filtros de tela limpiados por chorro pulsante sólo pueden operar como dispositivos externos de recolección de pastas.

Las bolsas son cerradas en el fondo, abiertas en la parte superior, y soportadas por retenes interiores llamados jaulas. El gas cargado de partículas fluye hacia dentro de la bolsa con el uso frecuente de difusores para prevenir que las partículas de tamaño extraordinario dañen las bolsas. El gas fluye desde el exterior hacia el interior de las bolsas, y después hacia afuera por el escape de gas tal como lo muestra la **figura 32**, la flecha descendente representa el chorro pulsante el cual desciende ocasionando que la pasta adherida al filtro se desprenda. Las partículas son recolectadas sobre el exterior de las bolsas y caen dentro de una tolva debajo del filtro de tela.

Durante la limpieza por propulsión se inyecta un torrente corto (de 0,03 a 0,1 segundos) de aire a alta presión (90 -100 libras por pulgada cuadrada de gas) dentro de las bolsas. El pulso es soplado a través de una boquilla tipo Venturi en la parte superior de las bolsas y establece una onda de shock que continúa adelante y hacia el fondo de la bolsa. La onda flexiona la tela, alejándola de la jaula, y en seguida la devuelve con fuerza desprendiendo la pasta de polvo.⁶⁰

⁶⁰ (Woodard, 1998)

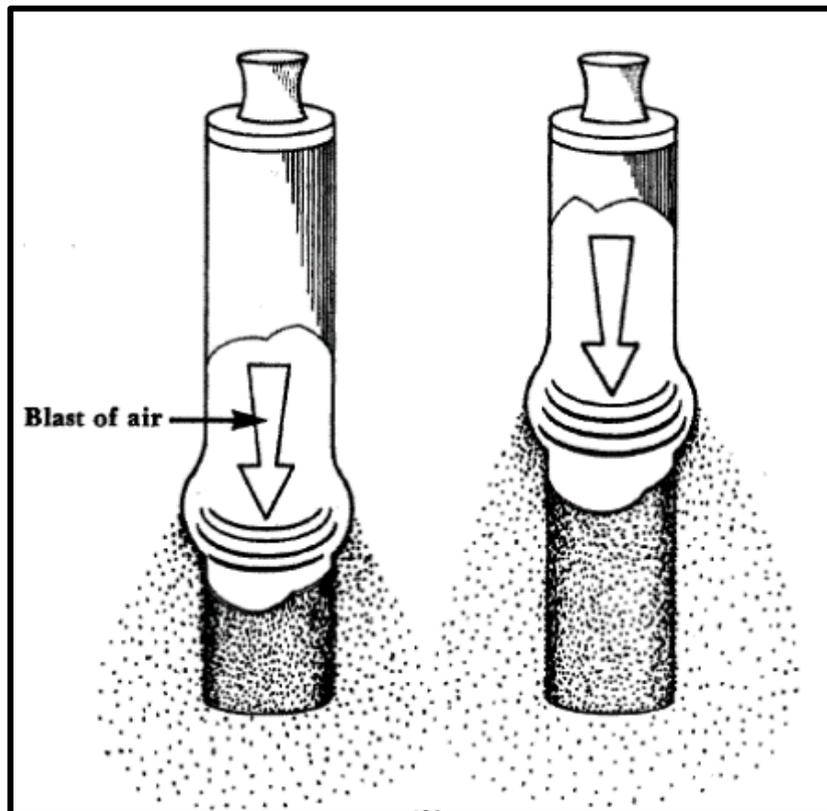


Figura 32: Desprendimiento de polvo de la tela.⁶¹

El ciclo limpiador es regulado por un cronómetro remoto conectado a una válvula solenoide. El torrente de aire que es controlado por la válvula solenoide es liberado hacia los tubos de soplado que tienen boquillas localizadas sobre las bolsas. Las bolsas generalmente son limpiadas fila por fila.

Existen varios atributos únicos a la limpieza por pulsorreactor. Debido a que el pulso limpiador es muy breve, el flujo de gas polvoriento no tiene que ser interrumpido durante la limpieza. Las otras bolsas continúan a filtrar, asumiendo trabajo extra debido a las bolsas que están siendo limpiadas. En general, no hay cambio en la caída de presión o rendimiento del filtro de tela como resultado de la limpieza por pulsorreactor. Esto permite que los filtros de tela con

⁶¹ (Burgess, Ellenbecker, & Treitman, 2004)

pulsorreactor operen en base continua con las válvulas solenoides como las únicas partes movibles significantes. La limpieza por pulsorreactor también es más intensa y ocurre con mayor frecuencia que los otros métodos de limpieza de filtros de tela. Esta limpieza intensa desprende casi toda la pasta de polvo cada vez que la bolsa es pulsada. A continuación, en la **Figura 33** se muestra un sistema de chorro pulsante.

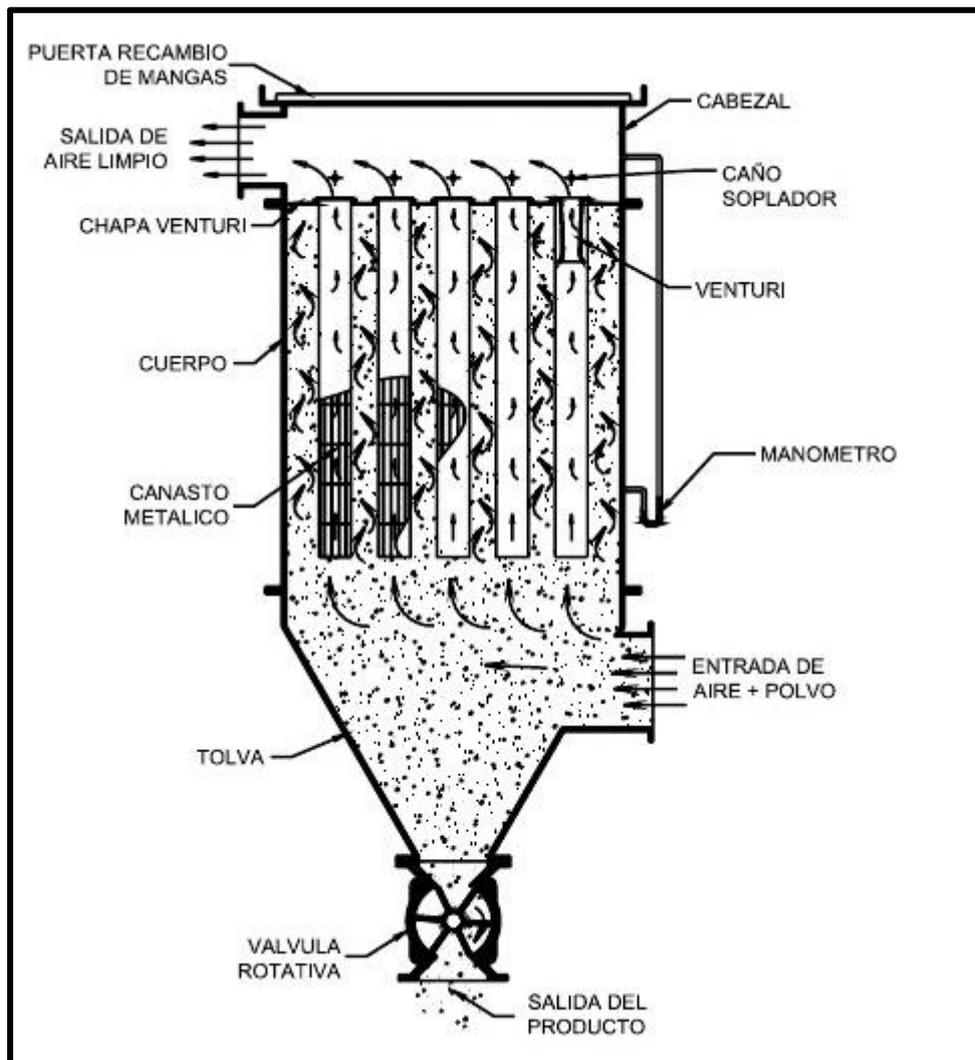


Figura 33: Sistema de limpieza con chorro pulsante.⁶²

⁶² <http://www.taminca.cat/productes/equips-de-filtratge/>

2.2.14.5. Precipitadores electrostáticos.⁶³

En estos equipos se mantiene un campo eléctrico de alto voltaje entre dos electrodos (electrodo de descarga y electrodo colector) cuyas polaridades son de signo opuesto. El electrodo de descarga es de sección pequeña, tal como un alambre o una lámina larga y estrecha, mientras que el electrodo colector tiene forma de placa y es de gran superficie.

El gas a depurar atraviesa el campo eléctrico que se mantiene entre los electrodos. A un potencial crítico, las moléculas del gas se descomponen en iones positivos y negativos. Este fenómeno se llama “ionización”, y ocurre en, o cerca, de la superficie del electrodo de descarga. Los iones con la misma polaridad que el electrodo de descarga se adhieren a las partículas neutras contenidas en el gas a su paso por el precipitador. Estas partículas cargadas son atraídas con el electrodo colector ya que es de polaridad opuesta. Cuando se produce el contacto de la partícula con el electrodo, la partícula pierde su carga, y puede ser retirada fácilmente por lavado, vibración o caída libre.

El proceso completo consiste en:

1. Ionización del gas.
2. Carga de las partículas de polvo.
3. Transporte de las partículas hacia la superficie colectoras.
4. Neutralización, o pérdida de la carga eléctrica, por las partículas de polvo.
5. Eliminación del polvo de la superficie colectoras.

⁶³ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

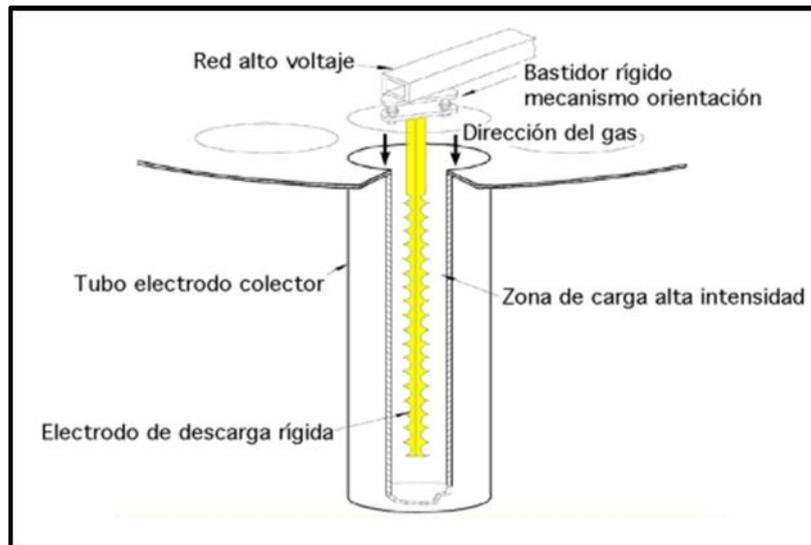


Figura 34: Sistema de descarga electrodo-colector.⁶⁴

Los dos tipos básicos de precipitadores electrostáticos son el “Cottrell” o de una sola etapa, y el “Penny”, o de dos etapas

El precipitador “Cottrell” de una etapa combina la ionización y la captación de una sola etapa. Dado que utiliza una diferencia de potencial entre 40 000 y 70 000 voltios de tensión continua, es conocido comúnmente con el nombre de precipitador de alto voltaje. Se utiliza profusamente en aplicaciones en las que el gas a depurar está muy cargado de polvo, tales como grandes quemadores industriales, generadores de vapor y hornos de cemento. Algunos diseños utilizan sistemas muy sofisticados para el control de la tensión aplicada y electrodos rígidos en vez de alambres a fin de minimizar los problemas de mantenimiento.

⁶⁴https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwidi5HoidPgAhUMZKwKHW0uAvMQjB16BAqBEAM&url=http%3A%2F%2Fmanager.redsauce.net%2FAppController%2Fcommands_RSM%2Fapi%2Fapi_getFile.php%3FitemID%3D201%26propertyID%3D20%26RStoken%3D59e8ac1045d03e2ff6564c0638315f38&psig=AOvVaw3ZE5Eb7DUT0Mukjc3PFT&ust=1551053219322733

El precipitador “Penny”, o precipitador de dos etapas utiliza para la ionización una diferencia de potencial entre 11 000 y 14 000 voltios, por lo que se suele llamar precipitador de bajo voltaje. Su uso está limitado a bajas concentraciones de polvo, normalmente inferiores a 50 mg/m³. Es el depurador más práctico para la captación de sustancias hidrocarbonadas cuando se da la circunstancia de que una emisión inicialmente transparente se convierte en un penacho visible al producirse la condensación de los vapores. Algunas aplicaciones típicas pueden ser los hornos de plastificado, las prensas de forja, las máquinas de moldeo y ciertos tipos de soldadura. Hay que tomar precauciones para asegurarse de que la entrada del precipitador la temperatura de los gases sea suficientemente baja para que la condensación ya se haya producido.

Para obtener buenos resultado, se deben determinar las características de la corriente gaseosa que llega al precipitador, y acondicionarla si es preciso para obtener las condiciones idóneas de ionización. En algunos casos es necesario instalar antes de los precipitadores de alto voltaje una torre de enfriamiento. Los equipos de bajo voltaje pueden necesitar depuradores húmedos, intercambiadores de calor, enfriadores evaporativos u otro equipo adecuado para acondicionar el fulgo de gas y conseguir el mejor rendimiento del aparato. La pérdida de carga de un precipitador electrostático es muy baja, generalmente menor de 25 mmca; en consecuencia, los requerimientos energéticos son significativamente menores que los de cualquier otro tipo de captador de polvo.

2.2.14.6. Comparación de los equipos de control de partículas.

El equipo específico de control de partículas que se debe seleccionar en una planta a fin de cumplir las normas de emisión, depende de muchas variables

de operación. El gasto volumétrico total es una variable importante que se ha de manejar. Si el equipo considerado no tiene la capacidad de remover partículas de la producción máxima o total de la planta, será entonces imposible cumplir las normas. La valoración máxima de la eficiencia deberá constituir una importante consideración, ya que se puede esperar, ya que se puede esperar una operación 10 por ciento por encima de las condiciones de diseño, para muchos procesos industriales. Las eficiencias colectoras de muchos tipos de equipos se afectan por la operación por encima o por debajo de la capacidad de diseño. Las características físicas y químicas de las partículas influyen también en la selección del equipo. Por ejemplo, el grado de grosor o finura de las partículas podrá impedir ciertas selecciones. La carga de polvo de la corriente de gas (gramos por metro cúbico) es otro factor importante. Para las grandes cargas de polvo (por ejemplo, 230 gr/m^3) puede que sea necesario un limpiador previo, antes de que la corriente del gas entre en colectores más costosos y más eficientes.

A continuación, aparece una lista de los cuatro tipos básicos de equipos de control de partículas, además de algunas de las situaciones en las cuales cada uno de ellos son más efectivos.

1. Los ciclones se usan por lo general cuando:
 - a) El polvo sea grueso.
 - b) Las concentraciones sean bastante altas ($> 2,28 \text{ g/m}^3$)
 - c) Se desea la clasificación de las partículas.
 - d) No se requiera una eficiencia muy alta.

2. Los lavadores húmedos se utilizan por lo general cuando:
 - a) Sea necesario eliminar partículas finas a una eficiencia relativamente alta.
 - b) Sea deseable el enfriamiento y no sea indeseable la humedad.
 - c) Los gases sean combustibles.
 - d) Sea necesario eliminar los contaminantes tanto gaseosos como partículas.

3. Los filtros de tela se utilizan por lo general cuando:
 - a) Se requieran eficiencias muy altas.
 - b) Se hayan de recolectar materiales secos de valor comercial.
 - c) El gas esté siempre por arriba del punto de rocío.
 - d) Los volúmenes sean razonablemente bajos.
 - e) Las temperaturas sean relativamente bajas.

4. Los precipitadores electrostáticos se utilizan por lo general cuando:
 - a) Se requieran eficiencias muy altas para la eliminación de polvos finos.
 - b) Se deban manejar volúmenes de gas.
 - c) Sea necesario recuperar materiales valiosos sin modificaciones físicas.

2.2.15. Ventilador.

Para mover el aire a través de una extracción localizada o un sistema de ventilación general de un local es necesario aportar energía para vencer las

pérdidas de carga del sistema. En la gran mayoría de los casos el aporte de energía proviene de máquinas denominadas ventiladores, aunque, en algunos casos, la ventilación se puede realizar por convección natural sin el uso de los ventiladores.

Los ventiladores son las máquinas más usadas para producir el movimiento del aire en la industria. Su funcionamiento se basa en la entrega de energía mecánica al aire a través de un rotor que gira a alta velocidad y que incrementa la energía cinética del fluido, que luego se transforma parcialmente en presión estática. Se dividen en dos grandes grupos: los ventiladores axiales y los ventiladores centrífugos.⁶⁵

2.2.15.1. Ventiladores Axiales.

En los ventiladores axiales, el movimiento del flujo a través del rotor, con álabes o palas de distintas formas, se realiza conservando la dirección del eje de éste tal como se muestra en la **figura 35**. Se usan para mover grandes cantidades de aire en espacios abiertos; como la resistencia al flujo es muy baja, se requiere generar una presión estática pequeña, del orden de los 5 a 25 milímetros de columna de agua (mmcda). Debido a esto, la principal aplicación de los ventiladores axiales se encuentra en el campo de la ventilación general y se los conoce con el nombre de extractores o inyectores de aire.

⁶⁵ http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados_apuntes_CAPITULO_VENTILADORES.pdf

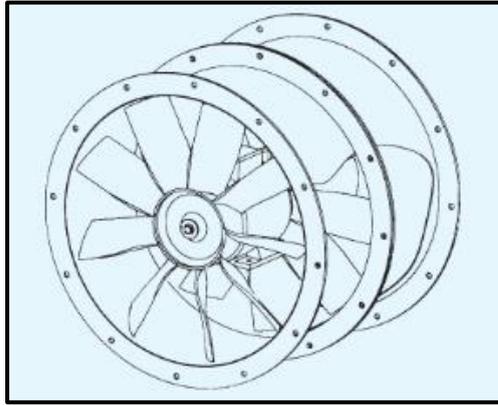


Figura 35: Ventilador Axial⁶⁶

2.2.15.2. Ventiladores Centrífugos.

En estos ventiladores el aire ingresa en dirección paralela al eje del rotor, por la boca de aspiración, y la descarga se realiza tangencialmente al rotor, es decir que el aire cambia de dirección noventa grados (90 °) **figura 36**.

Este tipo de ventiladores desarrolla presiones mucho mayores que los ventiladores axiales, alcanzando presiones de hasta 1 500 milímetros de columna de agua (mmcda) y son los empleados, mayormente, en los sistemas de ventilación localizada.

El principio de funcionamiento de los ventiladores centrífugos es el mismo de las bombas centrífugas. Están constituidos por un rotor que posee una serie de paletas o álabes, de diversas formas y curvaturas, que giran aproximadamente entre 200 y 5000 rpm dentro de una caja o envoltura.⁶⁷

Dentro de la clasificación de los ventiladores centrífugos se encuentran los de álabes curvados hacia adelante, álabes radiales y álabes curvados hacia atrás.

⁶⁶ Manual Práctico de Ventilación, Salvador Escoda

⁶⁷ http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados_apuntes_CAPITULO_VENTILADORES.pdf

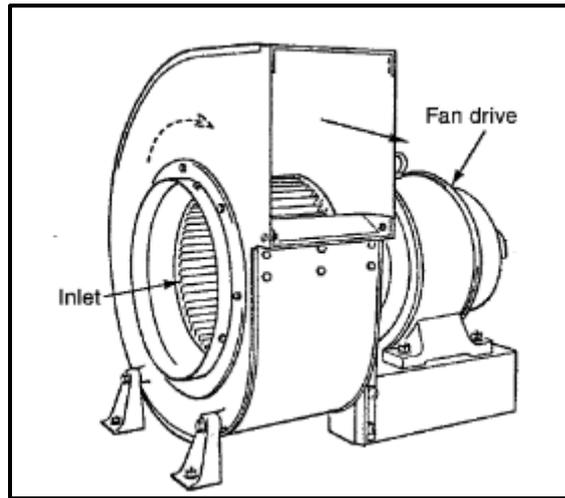


Figura 36: Ventilador Centrífugo.⁶⁸

Ventiladores de álabes curvados hacia adelante.

Los ventiladores de álabes curvados hacia adelante son los ventiladores más comunes, también conocidos como de “jaula de ardilla” que se usan ampliamente para mover grandes cantidades de aire contra presiones estáticas de bajas a moderadas. Este tipo de ventilador tiene álabes en forma de copa que aceleran el aire a alta velocidad a velocidades de rotación relativamente bajas. Los álabes y el impulsor están fabricados en chapa de acero y se ensamblan mediante soldadura por puntos, de modo que este diseño es mucho más barato que los impulsores más pesados utilizados en los ventiladores de álabes con curvatura hacia atrás y radial.

La alta velocidad del aire a baja velocidad de rotación da como resultado un funcionamiento más silencioso, lo cual es importante para muchas aplicaciones de movimiento de aire.

⁶⁸ (Burgess, Ellenbecker, & Treitman, 2004)

Este tipo de ventilador tiene tres desventajas principales; tiene una eficiencia de funcionamiento baja, no puede desarrollar una presión estática alta y no se puede utilizar en entornos corrosivos o erosivos. Estas limitaciones impiden su uso en la mayoría de los sistemas de escape locales.⁶⁹

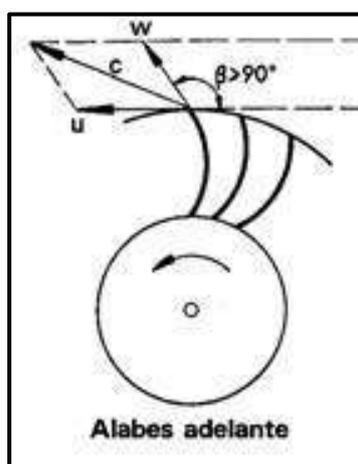


Figura 37: Ventilador con álabes curvados hacia adelante.⁷⁰

Ventiladores de álabes Radiales.

Los ventiladores de álabes radiales son el tipo de ventilador centrífugo más simple y menos eficiente. Se utilizan siempre que se debe mover aire polvoriento o contaminantes altamente corrosivos, ya que las cuchillas se pueden construir tan gruesas como sea necesario o se pueden reemplazar para resistir la erosión o la corrosión. Los álabes también tienden a ser autolimpiables, lo que minimiza la deposición de polvo y el desbalance del impulsor. Dado que estos ventiladores son menos eficientes y más costosos que los tipos descritos a continuación, generalmente se usan solo para sistemas que transportan aire polvoriento o corrosivo a través del ventilador. Este tipo de

⁶⁹ (Burgess, Ellenbecker, & Treitman, 2004)

⁷⁰ https://www.ecured.cu/Ventiladores_centrales_fugos

ventilador tiene tres desventajas principales; tiene una eficiencia de funcionamiento baja, no puede desarrollar una presión estática alta y no se puede utilizar en entornos corrosivos o erosivos. Estas limitaciones impiden su uso en la mayoría de los sistemas de escape locales.⁷¹

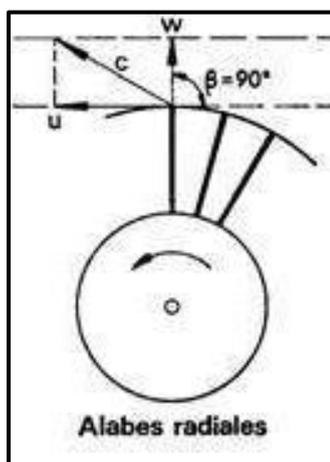


Figura 38: Ventilador con álabes radiales.⁷²

Ventiladores de álabes curvados hacia atrás.

Los ventiladores de álabes curvados hacia atrás son la opción preferida para los sistemas de extracción localizada donde el aire limpio se mueve a través del ventilador. Este sería el caso en el que los contaminantes que se están aspirando son gases, o donde las partículas contaminantes se están depurando, por un equipo de limpieza de aire el cual está ubicado aguas arriba del ventilador.

Este tipo de ventilador es más eficiente que el tipo de álabes radiales, lo que reduce los requisitos de potencia. Sin embargo, no deja de tener sus desventajas. La curvatura hacia atrás del álabe significa que la punta del

⁷¹ (Burgess, Ellenbecker, & Treitman, 2004)

⁷² https://www.ecured.cu/Ventiladores_centrales_y_fugos

álabe debe tener una velocidad más alta que el álabe radial para impartir la misma velocidad al aire; Por lo tanto, estos ventiladores deben funcionar a velocidades de rotación más altas que otros ventiladores centrífugos que mueven la misma cantidad de aire. Esta mayor velocidad aumenta los esfuerzos generados en el ventilador y da como resultado un mayor costo de capital, aunque esto se debe a las mayores eficiencias operativas alcanzadas por este diseño.⁷³

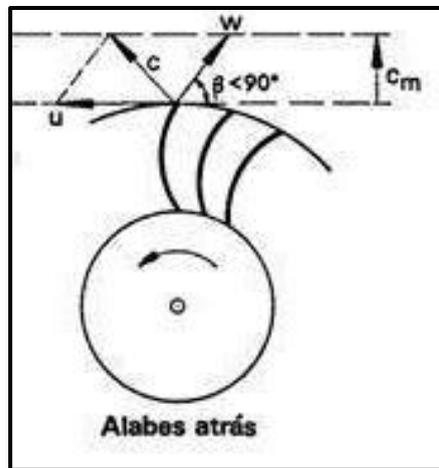


Figura 39: Ventilador de álabes curvados hacia atrás.⁷⁴

Evaluación de la Presión del Ventilador.⁷⁵

Presión Total del Ventilador (PTV).

Es el incremento de la presión total del aire al pasar a través del ventilador y puede representarse por la ecuación:

⁷³ (Burgess, Ellenbecker, & Treitman, 2004)

⁷⁴ https://www.ecured.cu/Ventiladores_centrales_fugos

⁷⁵ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

$$PTV = PT_{salida} - PT_{entrada} \quad (15)$$

Algunos fabricantes de ventiladores dan los valores característicos de sus equipos en términos de Presión Total del Ventilador. Para seleccionar un ventilador en estos casos, la Presión Total del Ventilador se calcula como sigue:

$$PTV = PT_{salida} - PT_{entrada}$$

$$PTV = (PE_{salida} + PD_{salida}) - (PE_{entrada} + PD_{entrada}) \quad (16)$$

Presión Estática del Ventilador:

La Air Movement and Control Association define la presión estática de un ventilador (PEV) como la Presión Total del Ventilador menos la Presión Dinámica del Ventilador. La Presión Dinámica del Ventilador se define como la presión dinámica correspondiente a la velocidad del aire a la salida del ventilador. La Presión estática del Ventilador queda definida por la ecuación:

$$PEV = PTV - PD_{salida} \quad (17)$$

O bien

$$PEV = PT_{salida} - PT_{entrada} - PD_{salida} \quad (18)$$

Puesto que $PT = PE + PD$, la ecuación puede escribirse así

$$PTV = (PE_{salida} + PD_{salida}) - (PE_{entrada} + PD_{entrada}) - PD_{salida} \quad (19)$$

Combinando términos se llega a la expresión:

$$PEV = PE_{salida} - PE_{entrada} - PD_{entrada} \quad (20)$$

La **ecuación 17** también se puede expresar así:

$$PTV = PEV + PD_{salida} \quad (21)$$

Potencia y eficiencia de un ventilador.⁷⁶

La **potencia** de un ventilador se determina mediante la ecuación:⁷⁷

$$P = \frac{Q \times \Delta P}{\eta} \quad (22)$$

P: Potencia (W)

Q: Caudal (m³/h)

ΔP: Presión total del ventilador (Pa)

η: eficiencia

La **eficiencia** de un ventilador se calcula mediante la ecuación.⁷⁸

$$\eta = P_a/P_v \quad (23)$$

P_a = Potencia que entrega el ventilador al aire

P_v = potencia que el ventilador recibe en su eje

⁷⁶ (Nivelo Chalco & Ugalde Pacheco, 2011)

⁷⁷ (Nivelo Chalco & Ugalde Pacheco, 2011)

⁷⁸ http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados_apuntes_CAPITULO_VENTILADORES.pdf

El valor de la eficiencia es dado por los fabricantes de los ventiladores.

2.2.16. Normativa Peruana.

En el Informe Nacional de la Calidad del Aire del año 2013-2014 señala que el sistema respiratorio constituye la principal vía de entrada al organismo para el MP presente en el aire y el grado de penetración está en relación directa con el tamaño de la partícula, ya que, a menor tamaño, la partícula podrá eludir más fácilmente los mecanismos de defensa del sistema respiratorio.

Investigaciones proveen evidencias de la relación causal entre la presencia del MP con la mortalidad prematura de causa cardiovascular, respiratoria y cáncer pulmonar; y efectos en la morbilidad como incremento de las admisiones hospitalarias por cardiopatía coronaria, insuficiencia cardíaca, asma bronquial, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, efectos sobre el peso al nacer, la tasa de prematuridad, etc.

La contaminación atmosférica produce daños tanto estéticos como físicos en los materiales de forma que edificios, monumentos y obras de arte pueden verse perjudicadas por la deposición seca o húmeda del MP. La deposición seca o húmeda del MP (principalmente sulfatos y nitratos) causan daños físicos en los materiales e infraestructura, asimismo, aceleran los procesos corrosivos naturales de los metales

La Ley N° 28611 en el Artículo 31.

El Estándar de Calidad Ambiental - ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la

salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.

La Ley N° 28611 en el Artículo 32 modificado según DL N°1055.

El Límite Máximo Permissible - LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

DS N° 003-2017-MINAM.

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire y establecen Disposiciones Complementarias.

Tabla 5: Estándares de Calidad Ambiental para Aire.⁷⁹

Parámetros	Período	Valor [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Criterios de Evaluación	Método de Análisis
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras ($\text{PM}_{2,5}$)	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10})	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	

⁷⁹ Adaptado de DS N° 003-2017-MINAM

2.2.17. Principio de funcionamiento muestreador de aire de alto volumen.

Principio de operación:⁸⁰

Las partículas suspendidas en el aire son captadas a un caudal de 40 pies cúbicos por minuto a través de la entrada circunferencial para tamaño selectivo de PM₁₀. El diseño simétrico asegura el ingreso de aire sea cual fuere la dirección del viento, el diseño de la entrada y la configuración interna hacen que la eficiencia de recolección sea independiente de la velocidad del viento en el ambiente de 0 a 36 kilómetros por hora. Luego del ingreso de las partículas, éstas se aceleran a través de múltiples boquillas de impacto. En virtud de la mayor cantidad de movimiento, las partículas mayores a 10 micrones impactan sobre la superficie de impacto engrasada. Las partículas de PM₁₀ con diámetro inferior a los 10 micrones se transportan verticalmente hacia arriba por el flujo de aire y bajan por los tubos de ventilación múltiples hacia el filtro de fibra de cuarzo de 8 pulgadas x 10 pulgadas, donde son recolectados. Las partículas grandes se depositan en la cámara de impacto en la cuña de recolección y se eliminan/limpian durante los períodos de mantenimiento prescritos. El filtro de fibra de cuarzo se pesa antes y después del muestreo. El aumento de peso es la masa de partículas menores de 10 micrones. La concentración de masa de partículas de PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) se determina dividiendo la masa de partículas (microgramos) por el volumen de aire muestreado (metros cúbicos). El volumen de aire se totaliza correctamente manteniendo un caudal constante de 40 ACFM (Actual Cubic foot per minute) (pies cúbicos por minuto reales) con el controlador electrónico de flujo de masa.

⁸⁰ <http://www.staplex.com/airsamplers/TSP-PM10/PM10-lit.pdf>

A continuación en la **figura 40**, se muestra un diagrama con el principio de operación.

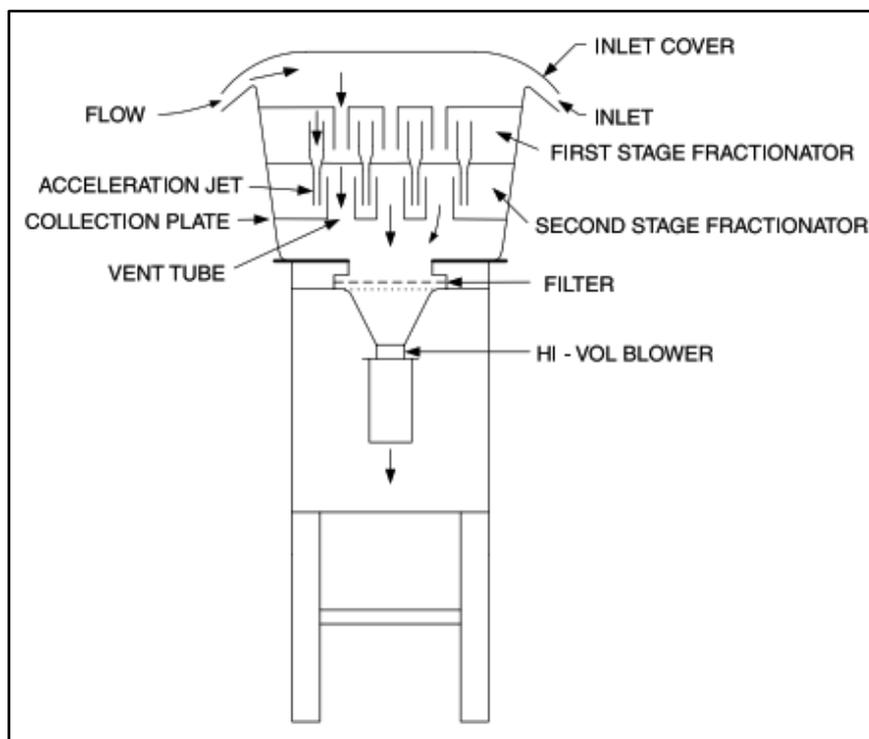


Figura 40: Muestreador de partículas de alto volumen de PM₁₀.⁸¹

Tabla 6: Traducción de términos de **figura 40**.⁸²

Inglés	Español/Definición
Inlet Cover	Cubierta de ingreso: tapa de ingreso del aire
Inlet/Flow	Ingreso de aire: lugar por donde ingresa el flujo de aire
First/Second Stage Fractionator	Fraccionador de primera/segunda etapa: retención de partículas mayores a PM ₁₀
Acceleration Jet	Tubo de aceleración: reducción de la sección del tubo para acelerar el aire
Collection Plate	Plato de recolección: se encuentra engrasada para retener partículas mayores a PM ₁₀
Vent Tube	Conducto de viento: circulación puramente de PM ₁₀
Filter	Filtro: lugar de retención de todo el PM ₁₀ aspirado
Hi-Vol Blower	Soplador de alto volumen: encargado de brindar energía cinética al aire de aspiración

⁸¹ (Schnelle & Brown, 2002)

⁸² Elaboración Propia.

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada

Velocidad de captura: Es la velocidad mínima para vencer la inercia de la partícula en el aire.

Campana: Es una forma de ingreso diseñada para captar el contaminante y conducirlo hacia los ductos de extracción.

Colector de polvo: Dispositivo diseñado para retener partículas pesadas del aire previo a ser expulsado al medio ambiente.

Limpiador de aire: Un dispositivo diseñado con el propósito de remover impurezas presentes en el aire.

Filtro de aire: Un dispositivo de limpieza de aire el cual capta impurezas del aire antes de ser enviado a la atmósfera.

Pérdidas de Entrada: Pérdida de presión ocasionada por el flujo de aire en las campanas.

Aerosoles: Conjunto de partículas pequeñas, sólido, líquido suspendidos en el aire. El diámetro varía entre 100 y 0,01 μm .

Micrón: Unidad de longitud, la milésima parte de 1 mm.

Humos: Suspensión de partículas no necesariamente sólidos. Producto de la combustión o sublimación.

Velocidad de transporte: Velocidad de transporte mínima a través de los ductos.

Vapor: Forma gaseosa de sustancias que están normalmente en estado líquido o sólido y que puede variar, esto se manifiesta aumentando la presión o disminuyendo la temperatura.

Presión Total: La suma algebraica de la presión estática y la presión dinámica.

Polvo: Partículas sólidas diminutas creadas por desintegración de partículas más grandes por trituración, molienda, perforación, explosiones, etc.

Presión estática: Es la presión ejercida en todas las direcciones en un fluido en reposo. Expresado en milímetro de columna de agua o pulgadas de columna de agua.

Presión dinámica: Determinado por la presión cinética necesaria para generar velocidad a un fluido en reposo. Generalmente expresado en milímetros de columna de agua o pulgadas de columna de agua.

Milímetro de columna de agua: Unidad de presión ejercida por una columna de agua líquida a una altura de un milímetro.

2.4. Viabilidad del proyecto de investigación.

El estudio de la evaluación económica es la parte final de toda la secuencia de análisis de la factibilidad de un proyecto. Si no han existido contratiempos, hasta este punto se sabrá que existe un mercado potencial atractivo; se habrá determinado un lugar y el tamaño más adecuado para el proyecto, de acuerdo con las restricciones del medio; se conocerá y dominará el proceso de producción, así como todos los costos en que incurrirá en la etapa productiva; además, se habrá calculado la inversión necesaria para llevar a cabo el proyecto.⁸³

⁸³ (Baca Urbina, 2010)

Valor Presente Neto (VPN) o Valor Actual Neto (VAN):⁸⁴

El valor presente neto es la diferencia del valor presente neto de los flujos netos de efectivo y el valor actual de la inversión, cuyo resultado se expresa en dinero.

Se define como la suma de los valores actuales o presentes.

$$VPN = -P + \frac{FNE}{(1+i)^1} + \frac{FNE}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FNE}{(1+i)^n} \quad (24)$$

Donde:

VPN = Valor Presente Neto.

FNE = Flujo Neto de Efectivo.

P = Inversión Inicial en el año cero.

i = tasa de interés.

En el momento que los flujos de efectivo se descuentan al valor presente según la tasa mínima de rendimiento (la “i” que se usa en la fórmula de VPN), se recupera la tasa mínima de rendimiento que se desea que el proyecto de inversión genere, y cuando se resta la inversión inicial neta a la sumatoria de los flujos de efectivo se recupera la inversión inicial neta, de tal manera que si el VPN que se obtiene es mayor que cero, se logró una ganancia adicional después de recuperar:

- La tasa mínima de rendimiento.
- La inversión inicial neta.

El valor presente neto presenta tres diferentes resultados:

- Valor presente neto = +.

⁸⁴ (Morales Castro & Morales Castro, 2009)

- Valor presente neto = 0.
- Valor presente neto = –.

Cuando el resultado es positivo representa el importe de dinero que se logra como ganancia adicional después de recuperar la inversión y la tasa mínima de rendimiento.

Si el resultado es cero es porque se recuperó la inversión y la tasa mínima de rendimiento que se estableció desde el inicio. En estos casos el proyecto es aceptable, siempre y cuando en la tasa de descuento que se utiliza se incluya el costo del financiamiento del proyecto de inversión y la tasa de rendimiento que compense el riesgo inherente al proyecto objeto de análisis.

En los casos que el resultado del valor presente neto es negativo, se muestra el importe de dinero faltante para cumplir con la recuperación del monto de la inversión inicial neta.

Un proyecto de inversión o alternativa de inversión se considera aceptable cuando el valor presente neto de los flujos netos de efectivo (utilidad) supera a la inversión que se realizó es decir el valor presente neto es mayor o igual que cero.

$VPN \geq 0$; se acepta el proyecto.

$VPN < 0$; se rechaza el proyecto.

Tasa Interna de Rendimiento:⁸⁵

Esta es la tasa de descuento a la que el valor presente neto de una inversión arroja un resultado de cero

⁸⁵ (Baca Urbina, 2010)

$$VPN = 0 = -P + \frac{FNE}{(1-i)^1} + \frac{FNE}{(1-i)^2} + \dots + \frac{FNE}{(1-i)^n} \quad (25)$$

o la tasa de descuento que hace que los flujos netos de efectivo igualen el monto de la inversión.

$$P = \frac{FNE}{(1-i)^1} + \frac{FNE}{(1-i)^2} + \dots + \frac{FNE}{(1-i)^n} \quad (26)$$

De esta manera el criterio para tomar decisiones con la TIR es la siguiente:

$TIR \geq 0$; se acepta el proyecto.

$TIR < 0$; se rechaza el proyecto.

Dicho de forma simple, si el rendimiento que genera el proyecto por sí mismo es mayor, o al menos igual que la tasa de ganancia que solicita el inversionista, se debe invertir; en caso contrario, es decir, cuando el proyecto no genera ni siquiera el mínimo de ganancia que se desea, se debe rechazar la inversión.

Resumen:⁸⁶

Dos métodos básicos, el VPN y la TIR, se utilizan para evaluar económicamente cualquier tipo de inversiones. Cada uno de ellos cuenta con una tasa de referencia llamada tasa mínima aceptable de rendimiento. Los criterios de decisión al usar estos métodos son:

⁸⁶ (Baca Urbina, 2010)

Análisis de una sola alternativa.

VPN	TIR	Criterio de aceptación – rechazo
$VPN \geq 0$	$TIR \geq 0$	<i>Se acepta el proyecto</i>
$VPN < 0$	$TIR < 0$	<i>Se rechaza el proyecto</i>

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación.

Tipo:

En primera instancia la el tipo de investigación según su grado de alcance es descriptiva, ya que en esta etapa se describe el proceso de secado y se mide la concentración de material particulado (variable dependiente) generado a causa del proceso de secado del grano de arroz, posteriormente la investigación se torna explicativa; ya que evalúa su relación con la variable independiente (sistema de aspiración localizada) para determinar el efecto sobre la variable dependiente.

Diseño:

El diseño de la investigación es no experimental ya que se observa el fenómeno tal como se da en su contexto natural, para luego analizarlo.⁸⁷

3.2. Población y muestra.

Población:

Material particulado generado en la línea 01 y 02 del área de secado de la empresa Induamerica Trade S.A. San Rafel – Bellavista – San Martín.

⁸⁷ The SAGE Glossary of the Social and Behavioral Sciences, 2009b.

Muestra:

Material particulado generado en la línea 01 y 02 del área de secado de la empresa Induamerica Trade S.A. San Rafel – Bellavista – San Martín.

3.3. Hipótesis.

Mediante un Sistema de Aspiración Localizada es posible extraer el material particulado en el proceso de secado de arroz en la empresa Induamerica Trade S.A. – San Rafael – Bellavista – San Martín.

3.4. Variables – Operacionalización.

X: Variable independiente:

Sistema de Aspiración Localizada

Y: Variable dependiente:

Material Particulado

Tabla 7: Operacionalización de Variables.⁸⁸

TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN	TÉCNICA	INSTRUMENTOS	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	Sistema de Aspiración Localizado	Observación Directa Análisis de Contenido	Fotografías Hojas de cálculo Cuaderno de Apuntes Resumen Lista de Chequeo	Velocidad de Captura Rugosidad de los ductos Caída de presión Caudal de aire
VARIABLE DEPENDIENTE	Material Particulado	Observación Directa Análisis de Contenido	HVAS* Resumen Lista de Chequeo	Tamaño del MP Masa del MP

⁸⁸ Elaboración Propia

*HVAS: High Volumen Air Sampler (Muestreador de Aire de Alto Volumen)

3.5. Métodos y Técnicas de Investigación

Métodos:

En el presente proyecto de investigación se empleará el método deductivo, ya que primeramente se abordará en términos generales el sistema de aspiración localizada con cada uno de sus componentes desde la campana hasta llegar al ventilador. En seguida, se detallará la funcionalidad de cada uno de ellos eligiendo el más conveniente ya sea por la distribución arquitectónica (ubicación de elevadores de cangilones y fajas transportadoras) o por su eficiencia de acuerdo a los requerimientos del sistema.

Técnicas:

a) Análisis de contenido

La técnica en mención se utilizó para la recopilación de información referente a sistemas de aspiración localizada, material particulado, normativa peruana con respecto a Estándares de Calidad Ambiental, equipos de transporte (fajas transportadoras, elevadores de cangilones, cadenas transportadoras). La recopilación de la información se obtuvo de revistas, tesis, libros, internet, software, etc.

b) Observación directa

Se observó la manera como se va generando el material particulado en la línea 01 y línea 02 del área de secado de arroz, y la manera como va sedimentando el material particulado sobre la “bota” de los elevadores y la cubierta de descarga de las fajas transportadoras entre otros, se utilizó un cuaderno para anotar cada uno de los activos físicos que forman parte

del lugar de estudio, también se tomaron las dimensiones largo, ancho y alto y la distancia de separación de cada uno de ello, esto permitió graficar el diagrama unifilar de las futuras instalaciones.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

Para este trabajo de investigación se emplearon distintos instrumentos tanto para la variable independiente como para la dependiente los cuales son presentados a continuación:

HVAS: High Volumen Air Sampler (Muestreador de Aire de Alto Volumen): Se utilizó para medir la concentración total de material particulado PM₁₀ en la línea 01 del área de secado de arroz.

Hoja de Cálculo: Con este instrumento se calculó el caudal total que debe aspirar el ventilador, la pérdida de carga a lo largo de los conductos, la presión dinámica, caudal corregido y presión dinámica resultante.

Planos: El empleo de este instrumento sirvió para identificar el área de secado de arroz dentro de la planta.

Mapas: De vital importancia para la ubicación cartográfica de la planta Industrial Induamerica Trade S.A.

Fotografías: El empleo de este instrumento es fundamental al momento de reportar el material particulado sedimentado en las estructuras de los elevadores y cubiertas de fajas transportadoras.

Cuaderno de apuntes: El uso de este instrumento fue efectivo para tomar nota de las dimensiones (largo, ancho y alto) de los equipos que intervienen en el área de secado, asimismo, la distancia que separa a cada uno de ellos.

3.7. Análisis estadístico e interpretación de los resultados.

A partir de las técnicas anteriores primeramente se extrae la información con el instrumento (Probador de Aire de Alto Volumen) y además de la bibliografía se toman datos tales como la velocidad de captura y velocidad de transporte del material particulado. Luego, los datos se utilizarán para procesar y utilizar la estadística descriptiva para obtener el caudal de aire total que debe transportar el ventilador, la pérdida de carga que debe vencer el impulsor del ventilador y la potencia requerida por el ventilador. Los resultados de los cálculos se mostrarán mediante tablas las cuales fueron obtenidas de las hojas de cálculo del software EXCEL 2019.

Finalmente, empleando el software AUTOCAD 2019, se elaborará un esquema con gráficos 3D del sistema completo campana, sistema de conductos y accesorios (codos y uniones), filtro de aire y ventilador centrífugo.

CAPÍTULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del sistema propuesto

Mostrado la problemática que representa la presencia de material particulado con diámetro inferior a los $10\mu\text{m}$ (PM_{10}) en la cascarilla a comercializar, además de esto, los efectos que tiene en el deterioro de la infraestructura de partes metálicas, presencia de polvo fugitivo en las zonas de circulación de personas y los efectos negativos tanto en la salud de los trabajadores y el medio ambiente.

Entonces es necesario la captación de material particulado para ello:

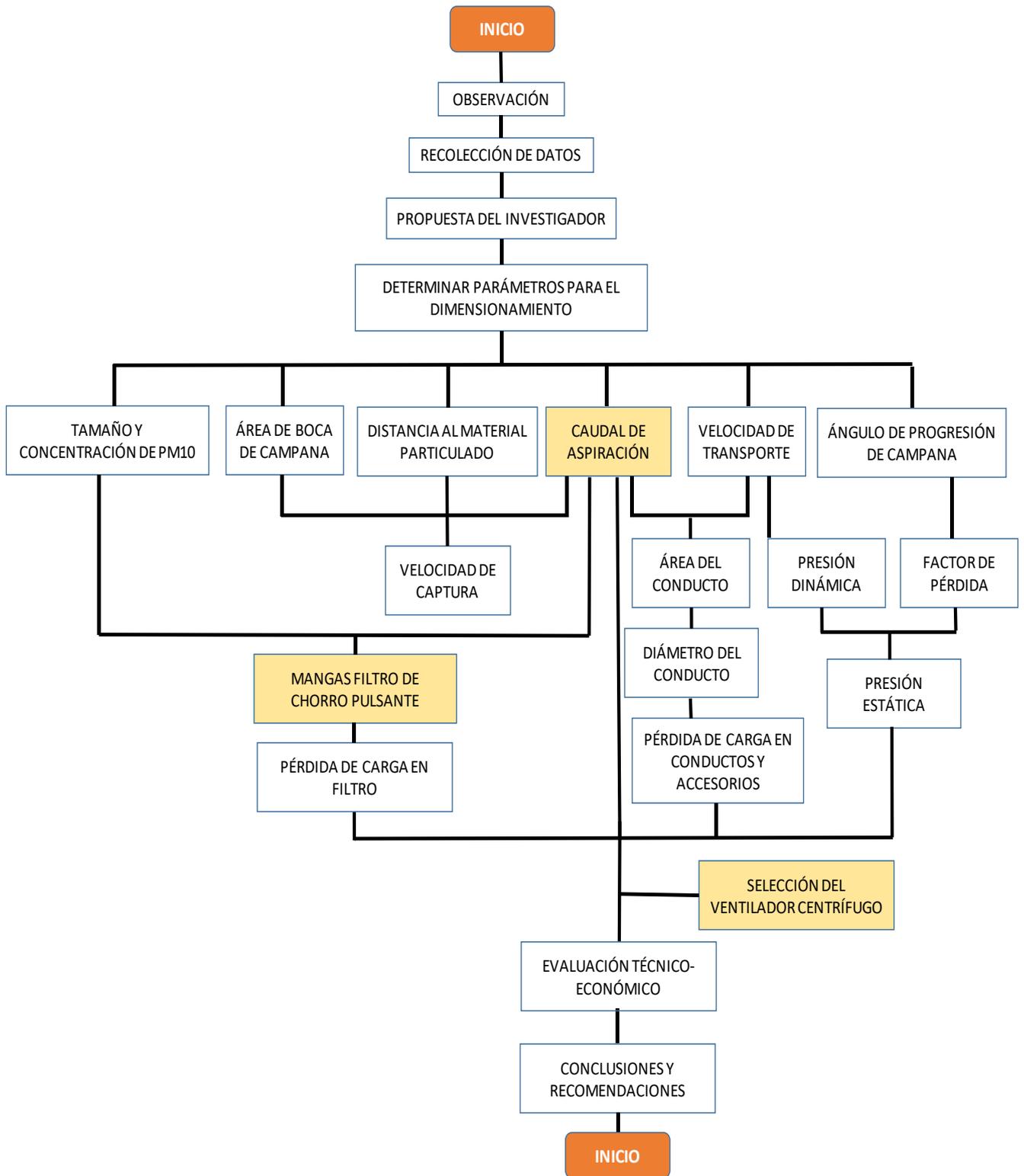
Se propone un Sistema de Aspiración Localizada el cual está conformado por campanas, sistema de conductos y accesorios, filtro de mangas y ventilador centrífugo.

Se propone emplear las campanas simples con pestaña las cuales serán de fabricación nacional.

Para el caso de sistema de conductos y accesorios (codos, uniones y transiciones) se propone los de fabricación nacional.

Se propone el uso del sistema de mangas filtro con chorro pulsante de la marca Buhler de procedencia alemana por la alta eficiencia de separación de partículas.

Un ventilador centrífugo con álabes curvados hacia atrás el cual viene equipado con un motor de marca Nord.



TÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Determinación de la concentración de material particulado (PM₁₀).

Para conocer la concentración del material particulado PM₁₀, se procedió a realizar un análisis experimental durante un tiempo de 24 horas tal como se establece en el DS N° 003-2017-MINAM. El análisis inició el día lunes 25 de febrero a las 13:00 horas del año 2019 y finalizó el día martes 26 de febrero a las 13:00 horas del mismo año. El análisis experimental se realizó al rededor del perímetro de la línea 01 del área de secado en la empresa Induamerica Trade S.A. ubicado en la Ctra F. Belaunde T. km 706,7 San Rafel – Bellavista – San Martín. En el resultado de la muestra se obtuvo una concentración de 2 790 µg/m³ de PM₁₀ tal como lo muestra el **anexo 07**.

En la **figura 41** se muestra el equipo muestreador de aire de alto volumen para PM₁₀ el cual tiene las siguientes características:

Marca: Staplex.

Modelo: PM10-2.

Flujo de aire: 40 pies cúbicos por minuto (CFM), 1,13 metros cúbicos por minuto.

Filtro: Fibra de vidrio de 8" X 10" (20,32cm X 25,40cm).



Figura 41: Muestreador de partículas de PM₁₀ de alto volumen.⁸⁹

5.2. Determinación de los parámetros de funcionamiento del Sistema de Aspiración Localizado.

Tamaño del material particulado:

Las fuentes de emisión de contaminantes están presentes en las líneas 01 y 02 del área de secado, se encuentran dentro del contaminante *polvo* y poseen un rango de tamaño de 0,25 μ m a 100 μ m de diámetro tal como se muestra en la **tabla 2**, en este caso de estudio tal como lo establece la norma se hizo un análisis experimental para determinar la concentración de PM₁₀ generado a partir del proceso de secado. El análisis se realizó en la línea 01, sin

⁸⁹ Tomada por el autor

embargo, ambas líneas realizan el mismo proceso, es por eso que, se generaliza que tanto en la línea 01 como en la línea 02 hay presencia de PM₁₀. En la **tabla 8** se muestra el resultado.

Tabla 8: Puntos de generacion de MP⁹⁰

Línea de Secado 01		
Activos Físicos	Contaminación	Diámetros
Faja Transportadora de Secado 02	Polvo (PM-10)	0,25µm a 100µm
Faja Transportadora de Secado 03		
Elevador de Cangilones de Secado 03		
Elevador de Cangilones de Secado 04		
Línea de Secado 02		
Activos Físicos	Contaminación	Diámetros
Faja Transportadora de Secado 04	Polvo (PM-10)	0,25µm a 100µm
Faja Transportadora de Secado 05		
Elevador de Cangilones de Secado 05		
Elevador de Cangilones de Secado 06		

Determinación de la Velocidad de captura.

Una vez conocido el diámetro de rangos de tamaños procederemos a determinar la velocidad de captura suficiente para atraer el material particulado hacia la campana de extracción.

Para nuestro caso, si bien el contaminante que emana de la fuente de contaminación tiene toxicidad relativamente baja. Sin embargo, existe una gran producción del mismo y su uso es continuo, por otro lado, también se encuentra que la cinta transportadora opera a una velocidad relativamente alta, lo mismo ocurre en el elevador de cangilones, lo que ocasiona que se produzcan corrientes de aire en el interior de los mismos. Dicho esto, y tomando como

⁹⁰ Elaboración Propia

referencia la **tabla 3**, las campanas que se instalarán en la línea 01 y 02 se encuentran en una velocidad de aire moderada, asimismo le corresponde un rango de velocidad de captura entre (0,50m/s a 1,01m/s).

Determinación de la Velocidad de Transporte.

Particularmente, en nuestro caso de análisis en las líneas de secado 01 y 02, las fuentes de contaminación emanan polvo, esto como consecuencia de la pérdida de humedad de los granos, además, por la erosión de las capas externas del grano y su rango de tamaño está comprendido entre 0,25µm y 100 µm. Además, tomando como referencia la **tabla 4** los polvos que emanan se consideran *polvos ordinarios*, es por eso que, se considera que la velocidad mínima de transporte en los ductos está entre el rango de 17,5 a 20 m/s.

Para este caso de estudio se considera una velocidad de transporte del gas de 18m/s, de esta manera se garantiza la extracción del gas con material particulado evitándose así la sedimentación tanto en los conductos como en los accesorios. Por otro lado, el polvo contaminante no presenta propiedades tóxicas ni corrosivas, tampoco pegajosas, sin embargo, por la humedad presente se sugiere trabajar con ductos de chapa galvanizada.

Puntos de Aspiración.

Inmediatamente después de haber definido el tipo y tamaño de las partículas contaminantes, la mínima velocidad de captura y la mínima velocidad de transporte, es posible iniciar los cálculos del sistema de extracción

propriadamente dicho, para lo cual es necesario tomar en consideración la distribución arquitectónica mostrada en el **anexo 2**, dicha distribución será la base para determinar la sección y diámetro de los ductos y accesorios (codos, uniones, ensanchamientos y estrechamientos) del sistema de extracción.

Todo sistema de aspiración tiene como primer elemento una campana, la cual se encuentra estrechamente ligada a una fuente de contaminación, esta fuente tiene dimensiones y al mismo tiempo guarda relación con la velocidad de captura que está íntimamente relacionada con la velocidad de transporte tal como lo muestra la **tabla 9**.

Tabla 9: Contaminante, Velocidad de Captura y velocidad de transporte⁹¹

LÍNEA 01				
Ubicación	Campana N°	Contaminante	Velocidad de captura	Velocidad de transporte
FTS-02	1	Polvo, PM10, PM2,5	(0,50 - 1,01) m/s	(17,5 - 20,0) m/s
FTS-03	2			
ECS-03	3			
ECS-04	4			
LÍNEA 02				
Ubicación	Campana N°	Contaminante	Velocidad de captura	Velocidad de transporte
FTS-04	5	Polvo, PM10, PM2,5	(0,50 - 1,01) m/s	(17,5 - 20,0) m/s
FTS-05	6			
ECS-05	7			
ECS-06	8			

La **tabla 9** muestra que las velocidades de captura y transporte son similares en ambos casos de las líneas 01 y 02, no obstante, la diferencia radicará en la arquitectura y geometría presente, el punto de ubicación de cada una, en el

⁹¹ Elaboración propia

caudal particular de cada extracción y en los requerimientos particulares de cada campana, los cuales serán tratados más adelante.

Campana 1, 2, 5 y 6: Las campanas 1, 2, 5 y 6 están ubicadas sobre la operación de descarga de la FTS-02, 03, 04 y 05 respectivamente, estas campanas extraerán el polvo generado de la liberación de material particulado de las capas externas de los granos de arroz esto a consecuencia de la pérdida de humedad, la velocidad con la cual son despedidos, además por el contacto que ejercen sobre las paredes del conducto y por la fricción entre granos.

Analizando los diferentes tipos de campanas y considerando las características constructivas de la cubierta de descarga de las fajas transportadoras se ha considerado como mejor opción la **Campana Simple con Pestaña**, ya que se adapta a las características requeridas, asimismo, el encerramiento de descarga de la faja transportadora será de gran utilidad para el sostén de la pestaña de la campana, además permite la captura del material particulado y evita que se dispersen en el ambiente, del mismo modo se ubicará sobre el punto central de descarga hacia el elevador de cangilones, lo cual permitirá una óptima captura. Del mismo modo a este tipo de campana se asocia la siguiente ecuación del caudal según la **figura 16**.

$$Q = 0.75V(10X^2 + A) \quad (27)$$

Donde:

Q: caudal (m³/s)

V: velocidad de captura (m/s)

X: distancia de la cara al punto de emanación (m)

A: Área de la cara de la campana (m²)

La ACGIH, brinda cierta información relevante acerca de la transferencia de cinta transportadora a elevador, donde señala que el caudal mínimo para cintas transportadoras con velocidades superiores a 1 m/s debe ser 0,77 m³/s por cada metro de anchura de cinta. En nuestro caso las cintas con las que se opera tienen un ancho de 0,6 m, por lo que el caudal mínimo que debe aspirar cada una de estas campanas sería de **0,46 m³/s**. Las dimensiones de estas campanas serán de 0,40m x 0,20m x 0,30m (Largo, Ancho, Altura). Siendo las dimensiones de la cara 0,40m x 0,20m se alcanza un área de cara de 0,08 m². Reemplazando en la **ecuación 27**, el caudal que debe aspirar la campana 0.46 m³/s, el área de 0,08 m² y además considerando una distancia X al material particulado de 0,25m se alcanza una velocidad de entrada a la campana de 0,87m/s, encontrándose en el rango de velocidades de la **tabla 3** (0,5m/s – 1,01m/s), garantizándose de esa manera la extracción del polvo específicamente en la parte central sobre la poela motriz como lo representa la **figura 42**.

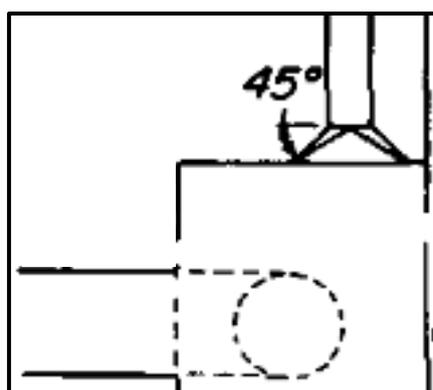


Figura 42: Campana para faja transportadora⁹²

⁹² (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

Por las características constructivas de la cara de la campana, la altura y el diámetro del conducto con el cual conectará se forma un ángulo de progresión de $43,6^\circ$, no obstante, este ángulo no se encuentra en el **anexo 03**, es por eso que, se procederá a interpolar el ángulo de $43,6^\circ$ el cual se encuentra entre los ángulos de 30° y 45° , los cuales tienen un factor de pérdida de 0,16 y 0,15 respectivamente, luego del proceso de interpolación a dicho ángulo le corresponde un factor $F_c = 0,15$; por lo tanto, la pérdida de carga o caída de presión para este tipo de campanas según la **ecuación 5** estará determinado por la ecuación: $h_c = 0,15 \times PD$.

Campana 3, 4, 7 y 8: Las campanas 3, 4, 7 y 8 se instalarán en los ECS-03, 04, 05 y 06 respectivamente. Se ubicarán en la bota del elevador, específicamente en la parte central sobre la polea tensora como lo representa la **figura 43**.

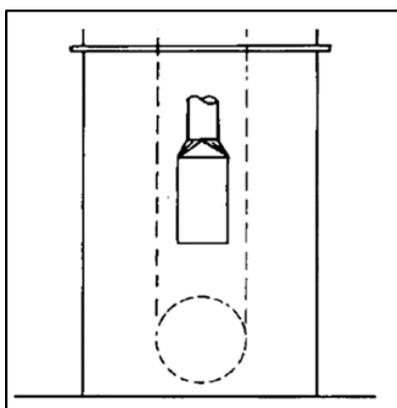


Figura 43: Extracción para elevador de cangilones.⁹³

⁹³ (American Conference of Governmental Industrial Hygienist, 1998)

Por la adaptabilidad hacia el elevador y por la eficiencia se ha elegido el tipo de *Campana Simple con Pestaña*, al igual que para las cintas transportadoras, la ACGIH sugiere un caudal de $0,77\text{m}^3/\text{s}$ por cada metro de ancho de cinta del elevador, en este caso los elevadores trabajan continuamente con cintas las cuales tienen un ancho de $0,33\text{m}$, esto significa que cada una de las campanas que irán montadas en los elevadores deberán aspirar un caudal de **$0,25\text{m}^3/\text{s}$** .

Las dimensiones de las campanas serán $0,45\text{m} \times 0,30\text{m} \times 0,30\text{m}$ (Largo, Ancho, Alto), tomando en cuenta las dimensiones que forman la cara $0,45\text{m} \times 0,30\text{m}$ (Largo, Ancho) obtendremos un área de $0,135\text{m}^2$, además si para las mismas campanas consideramos una distancia X de $0,15\text{m}$ de la cara de la campana al material particulado, y finalmente reemplazando los valores del caudal $0,25\text{m}^3/\text{s}$, área $0,135\text{m}^2$ y la distancia X en la **ecuación 27** determinamos la velocidad mínima para la retención del contaminante la cual es $0,98\text{m}/\text{s}$ que está dentro de los parámetros de velocidades indicados en la **tabla 3** ($0,50\text{m}/\text{s} - 1,01\text{m}/\text{s}$), por lo tanto queda asegurada la extracción del contaminante.

Para determinar las pérdidas asociadas a este tipo de campanas vamos al **anexo 03**, sin embargo, no presenta un factor de pérdidas para el ángulo de progresión $56,1^\circ$; es por eso que; se procede con la interpolación, luego del cálculo el factor asociado a este ángulo de progresión es $F_c = 0,16$, inmediatamente después de reemplazar este factor de pérdidas en la **ecuación 5**, las pérdidas asociadas a cada una de las campanas que se

instalarán sobre la “bota” de los elevadores de cangilones estarán regidas por la ecuación: $h_c = 0,16 \times PD$.

El valor de PD queda determinado por la **ecuación 9**.

Cálculo del sistema de conductos.

Habiendo determinado el caudal, la velocidad de captura, la velocidad de transporte y seleccionado las campanas, continuamos con el sistema de conductos y los accesorios los cuales tienen la función de transportar el gas contenido en su interior, además de ello, son el nexo de comunicación desde las campanas pasando por el depurador de aire y ventilador para finalizar en la chimenea.

Los procedimientos para los cálculos se describieron en el capítulo II, a continuación se muestra un resumen de los cálculos realizados en el software Excel 2019.

Tabla 10: Resumen de cálculo del sistema.⁹⁴

Extracción línea 01			
Tramo	Diámetro (mm)	Caudal (m ³ /s)	Presión (mmcda)
1-B	160	0,46	-60,8
4-A	130	0,25	-42,4
3-A	130	0,25	-38,4
A-B	190	0,51	-62,0
B-C	260	0,97	-64,6
2-C	160	0,46	-58,2
C-D	320	1,46	-83,6
Extracción línea 02			
Tramo	Diámetro (mm)	Caudal (m ³ /s)	Presión (mmcda)
5-F	160	0,46	-60,8
8-E	130	0,25	-42,4
7-E	130	0,25	-38,4
E-F	190	0,51	-62,0
F-G	260	0,96	-64,6
6-G	160	0,46	-54,5
G-D	320	1,46	-74,2
D-H	460	3,01	-91,4
9	Mangas filtro		-149,9
I-J	460	3,01	-272,1
10	Ventilador		
K-L	460	3,01	13,3

Las presiones que se muestran negativas en la **tabla 10** son las que se encuentran en el lado de aspiración y la presión positiva se considera la que está en el lado de impulsión del ventilador. Ambas son necesarias para calcular la presión total del ventilador

En el caso del caudal se determinó en cada campana, sin embargo, se tuvieron que hacer correcciones, los procedimientos para las correcciones de caudal se mostraron en el capítulo II. El caudal total que debe aspirar el ventilador es $10\ 829\ m^3/h$ ($3,01\ m^3/s$).

⁹⁴ Elaboración propia.

Selección del Sistema de Limpieza de Aire

Como ya se emencionó en el capítulo II, existen cinco clases básicas de equipos para tratamiento de aire previo a ser expulsado al exterior, sin embargo, para seleccionarlo se debe tener en cuenta las propiedades físicas y químicas del material, inversión para adquirir el equipo, gastos operativos, costos en mantenimiento, prestaciones del lugar donde será ubicado, todo esto con la finalidad de garantizar la correcta extracción del material particulado.

En este proyecto de investigación solo se transportará material particulado el cual no es explosivo ni pegajoso. Si bien el costo inicial de la inversión es elevado, sin embargo, los costos operativos y mantenimiento son muy bajos, además, el lugar donde se instalará cuenta con el espacio adecuado para permitir la extracción del material particulado sin complicaciones. Dicho esto, el equipo que se ha considerado para separar el aire del material particulado es el *sistema de limpieza de magas filtro con chorro pulsante o pulso reactor*.

De las tres series ofrecidas por Bühler según **figura 44** se ha elegido la serie AHMY la cual tiene los siguientes parámetros técnicos:

Presión de funcionamiento = -1 960 a 2 490 Pa (ambiente de operación).

Caída de presión = 1 470 Pa (149,9 mmcda) (caída de presión en el equipo de limpieza).

Presión de limpieza = 100 PSI (presión recibida por el tanque pulmón del compresor).

Anchura (Tiempo de apertura entre válvulas) = 0,03 – 0,2 s.

Velocidad del aire (velocidad de filtración) = 3 – 4 m/min.

Medidas de la bolsa = Ø120mm x 1 800mm (diámetro x longitud).

N.º	Pos.	Parámetros técnicos		
		Serie TBLF	Serie AHMB	Serie AHMY
1	Presión de funcionamiento	-1960 Pa~+2940 Pa	-1960 Pa~+2940 Pa	-1960 Pa~+2940 Pa
2	Resistencia	Hasta 1470 Pa	Hasta 1470 Pa	Hasta 1470 Pa
3	Presión de limpieza	4×10 ⁵ Pa	4×10 ⁵ Pa	4×10 ⁵ Pa
4	Anchura	0,03~0,2 s ajustable	0,03~0,2 s ajustable	0,03~0,2 s ajustable
5	Velocidad del aire	3-4 m/min	2-4 m/min	3-4 m/min
6	Medidas de la bolsa	φ120×2000	φ160×2000	φ120×1800 φ120×2000 φ120×2400

Figura 44: Parámetros técnicos del sistema de limpieza.⁹⁵

El separador de polvo de alta eficiencia deberá tener la capacidad de transportar un caudal de aire de 10 829 m³/h.

Parámetro Modelo		φ120×1800		φ120×2000		φ120×2400	
		Superficie filtrante (m ²)	Capacidad de aire (m ³ /h)	Superficie filtrante (m ²)	Capacidad de aire (m ³ /h)	Superficie filtrante (m ²)	Capacidad de aire (m ³ /h)
Serie AHMY	AHMY-4	2,7	486~648	3	540~720	3,6	648~864
	AHMY-10	6,8	1224~1632	7,5	1350~1800	9	1620~2160
	AHMY-18	12,2	2196~2928	13,6	2448~3264	16,3	2934~3912
	AHMY-26	17,6	3168~4224	19,6	3528~4704	23,5	4230~5640
	AHMY-39	26,5	4770~6360	29,4	5292~7056	35,3	6354~8472
	AHMY-52	35,3	6354~8472	39,2	7056~9408	47	8460~11280
	AHMY-78	52,9	9522~12696	58,8	10584~14112	70,5	12690~16920
	AHMY-104	70,5	12690~16920	78,4	14112~18816	94	16920~22560
	AHMY-130	88,2	15876~21168	98	17640~23520	117,6	21168~28224
	AHMY-156	105,8	19044~25392	117,6	21168~28224	141,1	25398~33864

Figura 45: Superficie filtrante y capacidad de aire.⁹⁶

⁹⁵ Separador de polvo de alta eficiencia por impulsos 2008.

⁹⁶ Separador de polvo de alta eficiencia por impulsos 2008.

En la **figura 45** seleccionamos el modelo AHMY-78 el cual tiene una superficie filtrante de 52,9 m² y, además, tiene capacidad filtrar un caudal de aire entre (9 522 – 12 696 Pa), nuestro valor de diseño 10 829 m³/h está comprendido entre estos valores con lo cual se garantiza la filtración del aire con material particulado

5.3. Cálculos para la selección del ventilador.

Primeramente, calculamos la Presión Estática del Ventilador (PEV), para esto se hace uso de la ecuación 20.

$$PEV = PE_{salida} - PE_{entrada} - PD_{entrada}$$

La PE_{salida} se refiere a la presión en el lado de impulsión el dato lo obtenemos de la **tabla 10** y su valor es 13,3 mmcda positivo.

La $PE_{entrada}$ es la presión estática acumulada en el lado de aspiración del ventilador, en la **tabla 10** el tramo previo al ventilador es I-J, la sumatoria de las PE hasta este tramo es 272,1 mmcda negativo.

Para el caso de $PD_{entrada}$ se determina empleando la **ecuación 9** cuyo resultado es 20 mmcda.

Entonces reemplazando los datos en la ecuación 20 queda de la siguiente forma:

$$PEV = 13,3 - (-271,1) - 20$$

$$PEV = 264,4 \text{ mmcda} \approx 2\,592,8 \text{ Pa}$$

Para calcular la Presión Total del Ventilador (PTV) se reemplaza la PEV y la $PD_{entrada}$ en la ecuación 21.

$$PTV = 264.4 + 20$$

$$PTV = 284.4 \text{ mmcda} \approx 2\,592.8 \text{ Pa}$$

El ventilador a seleccionar debe cumplir con las siguientes características:

Ventilador de succión

Tipo centrífugo

Álabes curvados hacia atrás (eficiencia $\eta = 0,53$)

Opera en zona de aire limpio

Caída de presión total = $284,4 \text{ mmcda} \approx 2\,592,8 \text{ Pa}$

Caudal = $10\,829 \text{ m}^3/\text{h} = 3,01 \text{ m}^3/\text{s}$

La potencia lo calculamos mediante la **ecuación 22**:

$$P = \frac{3,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 2\,592,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{0,53}$$

$$P = 14\,725,1 \text{ W} = 14,7 \text{ kW}$$

El sistema de mangas filtro AHMY-78/18 viene equipado con un motor de 15 kW cuya potencia es semejante a la calculada 14,7kW.

Por lo tanto, el motor que acciona el ventilador debe tener una potencia de 15kW.

5.4. Presupuesto del Sistema de Aspiración Localizado.

En esta parte se procede a presupuestar el costo de las campanas, tubería para transporte del aire con material particulado y tubería para transporte de aire comprimido para la limpieza de las mangas filtro, codos, uniones, transiciones, conductor de electricidad, sistema de protección de motores, mangas filtro de chorro pulsante, ventilador y esclusa.

5.4.1. Campanas.

Para la fabricación de campanas se ha considerado el acero de chapa galvanizada con un espesor de 1,5 mm que cumpla con lo establecido en la norma JISG 3302 ó ASTM A653/A653M.

Tabla 11: Metrado de campanas.⁹⁷

Descripción	Cantidad	Dimensiones (Largo x ancho x altura) mm	Norma técnica
Campana Simple con Pestaña	4	400 x 300 x 200	JISG 3302 ó ASTM A653/A653M
Campana Simple con Pestaña	4	450 x 300 x 300	

El monto total invertido en la fabricación de campanas es: : S/. 1 581,20

5.4.2. Tubería y accesorios.

Conductos.

Los conductos rectos se fabricarán con acero de chapa galvanizada con un espesor de 1,5 mm.

⁹⁷ Elaborado a partir de los costos del fabricante.

Tabla 12: Medrado de conductos rectos.⁹⁸

Descripción	Cantidad	Unidad	Norma técnica
Tubo de Ø160mm	8,048	m	JISG 3302 ó ASTM A653/A653M
Tubo de Ø130mm	7,328	m	
Tubo de Ø190mm	4,710	m	
Tubo de Ø260mm	2,588	m	
Tubo de Ø320mm	11,950	m	
Tubo de Ø460mm	19,233	m	

La inversión para la fabricación de los conductos rectos es: S/.5 005,84

Codos.

Los codos se fabricarán de chapa galvanizada con un espesor de 1,5 mm deben cumplir lo que dice la norma JISG 3302 ó ASTM A653/A653M. Además, el radio será dos veces el diámetro. Medido desde el centro al eje del codo.

Tabla 13: Medrado de codos.⁹⁹

Descripción	Cantidad	Diámetro (mm)	Material
Codo 90°	2	160	JISG 3302 ó ASTM A653/A653M
Codo 90°	6	130	
Codo 90°	2	190	
Codo 45°	2	190	
Codo 30°	2	160	
Codo 90°	1	320	
Codo 45°	1	320	
Codo 30°	2	460	
Codo 90°	6	460	

El valor de la inversión para la fabricación de los codos es: S/. 7 670,00

⁹⁸ Elaborado a partir de los costos del fabricante.

⁹⁹ Elaborado a partir de los costos del fabricante.

Uniones.

También conocida como Yee, su fabricación se realizará con chapa de acero galvanizado de 1,5 mm.

Tabla 14: Metrado de uniones.¹⁰⁰

Descripción	Cantidad	Dimensiones (mm)	Material
Unión 45°	2	130 x 130 x 190	JISG 3302 ó ASTM A653/A653M
Unión 45°	2	160 x 190 x 260	
Unión 60°	2	260 x 160 x 320	
Unión 45°	1	320 x 320 x 460	

El gasto invertido en la fabricación de las uniones del sistema de aspiración localizada es: S/.422,44

Transiciones.

Su fabricación será con chapa de acero galvanizado con un espesor de 1,5 mm.

Tabla 15: Metrado de transiciones.¹⁰¹

Descripción	Cantidad	Dimensiones (Largo x ancho /diámetro x profundidad) mm	Material
Ingreso mangas filtro	1	800 x 500 / 460 x 634	JISG 3302 ó ASTM A653/A653M
Salida mangas filtro	1	850 x 400 / 460 x 341	
Succión del ventilador	1	Ø516 x Ø460	
Impulsión del ventilador	1	451 x 315 / 460 x 600	

El costo de total de las transiciones es: S/.443,68

¹⁰⁰ Elaborado a partir de los costos del fabricante.

¹⁰¹ Elaborado a partir de los costos del fabricante.

Tubería de aire comprimido.

Esta tubería se empleará en el transporte de aire comprimido desde el tanque pulmón del compresor hasta el sistema de mangas filtro.

Tabla 16: Metrado de tubos y curvas para aire comprimido.¹⁰²

Descripción	Cantidad	Unidad
Tubo de F°G° de 1 1/2" x 2,9 mm x 6m	10	m
Curva de 90° de F°G° de 1 1/2" x 2,5mm	8	und

La inversión para la compra del tubo y curvas para el aire comprimido es: S/. 934,00

5.4.3. Conductor eléctrico, sistema de protección y arranque de motor.

Conductor de electricidad.

El conductor eléctrico se empleará para suministrar energía al motor del ventilador y al motor de la esclusa.

Tabla 17: Metrado conductor eléctrico.¹⁰³

Descripción	Cantidad	Unidad	Uso
Conductor de Cobre NLT 3x10 AWG 25A	30	m	Para conexión de motor de ventilador
Conductor de Cobre NLT 3x16 AWG 10A	30	m	Para conexión de motor de esclusa

¹⁰² Elaborado a partir de los costos del proveedor.

¹⁰³ Elaborado a partir de los costos del proveedor.

Para la compra del conductor de energía eléctrica se requiere una inversión de:
S/. 398,71.

Sistema protección y de arranque de motor.

El sistema de protección será necesario para la protección de motores y el conductor eléctrico, mientras que los contactores y pulsadores son imprescindibles para el paro y arranque de motores.

Tabla 18: Metrado de materiales de protección y arranque de motores.¹⁰⁴

Descripción	Cantidad	Unidad	Uso
Guardamotor TeSys GV2ME22 20-25A / 440V	1	UND	Para Motor de Ventilador
Guardamotor TeSys GV2ME06 1-1,6A / 440V	1	UND	Para motor de esclusa
Contactador de 25A LC1D25P7 TeSys D <= 440 V 25 A - 230 V AC	1	UND	Para Motor de Ventilador
Contactador de 9A LC1D09P7 TeSys D <= 440 V 9 A - 230 V AC	1	UND	Para motor de esclusa
Pulsador de marcha Luz LED VERDE XB4BV43	2	UND	Para arranque de motor de ventilador y esclusa
Pulsador de paro Luz LED ROJO XB4BV43	2	UND	Para paro de motor de ventilador y esclusa

Se debe invertir el monto de S/. 748,11 para la compra del sistema de protección, arranque del motor.

5.4.4. Mangas filtro de chorro pulsante, ventilador y esclusa.

Las mangas filtro de chorro pulsante son de la marca Bühler de procedencia alemana viene en conjunto con el ventilador y la esclusa.

¹⁰⁴ Elaboración propia.

Tabla 19: Mangas filtro, ventilador y esclusa.¹⁰⁵

Descripción	Cantidad	Unidad	Dólares americanos	Soles
Manga filtro AHMY-78/18	1	UND	28 300,00	93 956,00
Ventilador LCFA 15kW, 440V	1	UND		
Esclusa MPSN - 25/23 0,55kW, 440V	1	UND		

La inversión para la adquisición de las mangas filtro, ventilador y esclusa asciende a: S/.93 956,00, en dicho costo no está incluido el IGV, es por eso, que le adicionamos el 18% correspondiente al IGV con lo cual el valor asciende a S/. 110 868,08.

El costo del proveedor incluye desde el país de origen hasta la llegada al puerto, del traslado de la maquinaria del puerto hacia la planta se encargarán los camiones de la empresa.

5.4.5. Inversión Total.

En los costos calculados anteriormente está considerado el Impuesto General a las Ventas (IGV) y el costo de mano de obra para la instalación del sistema de conductos, no obstante, las conexiones eléctricas, montaje del sistema de limpieza de aire lo realizará personal técnico de la empresa. Del traslado de equipos se encarga los camiones con los cuales cuenta la empresa.

¹⁰⁵ Elaboración propia

Tabla 20: Inversión Total.¹⁰⁶

DESCRIPCIÓN	Costo
Campanas	S/ 1.581,20
Conductos	S/ 5.005,84
Codos	S/ 7.670,00
Uniones	S/ 422,44
Transiciones	S/ 443,68
Tubería de aire comprimido	S/ 934,00
Conductor de electricidad	S/ 398,71
Sistema de protección y arranque de motor	S/ 748,12
Mangas filtro de chorro pulsante, ventilador y esclusa	S/ 110.868,08
Mano de obra	S/ 12.807,21
Inversión Total	S/ 140.879,28

Como se observa en la tabla 20 para la ejecución de la propuesta se requiere un presupuesto total de S/140 879,28.

5.5. Evaluación económica del proyecto de investigación.

5.5.1. Flujo de caja proyectado.

Se fija un norte de 10 años de flujo. Este flujo de caja permitirá ver los ingresos y egresos que tendrá el proyecto durante su ciclo de vida.

5.5.2. Estructura del flujo de caja.

Conforman el flujo de caja:

Ingresos: Está conformado por la venta de la cascarilla puesto que ya no se arrojará a la intemperie.

¹⁰⁶ Elaboración propia.

En el planteamiento del problema se menciona que se deja de comercializar 120t anualmente. El costo promedio de cada tonelada es s/.400,00 soles.

A partir de los datos anteriores se determina que la empresa recaudará el monto de:

$$\text{Ingresos por venta de cascarilla} = 175 \times 400 = 70\,000.00 \text{ soles anuales}$$

Egresos: Está dado por los gastos anuales en mantenimiento y los gastos por consumo de energía durante su funcionamiento del sistema de aspiración.

$$\text{Gastos anuales en mantenimiento} = 200.00 \text{ soles}$$

$$\text{Gastos anuales por consumo de energía} = 16511.04 \text{ soles}$$

Con la diferencia de los ingresos y egresos se obtiene un beneficio neto anual de S/. 53 288,96.

Tasa de Interés: Para la evaluación económica se considera un préstamo de S/. 140 879,28 soles y se amortizará 06 cuotas anuales fijas. Se ha empleado el simulador de préstamo del BN el cual arroja una tasa de interés de:

Tabla 21: Tasa de interés anual.¹⁰⁷

ENTIDAD FINANCIERA	TASA DE INTERÉS
Banco de la Nación	19%

¹⁰⁷ Elaborado a partir del simulador de préstamos del Banco de la Nación

5.5.3. Valor Actual Neto (VAN).

Empleando una hoja de cálculo en el software Excel 2019 se procedió a calcular el VAN tomando como datos los flujos netos de ingresos y la tasa de interés obtenida del simulador de préstamos del Banco de la Nación.

Tabla 22: Cálculo del VAN¹⁰⁸

TASA DE INTERÉS	VAN	TOMA DE DECISIÓN
19%	S/ 90.338,05	SE ACEPTA EL PROYECTO

En la tabla 22 se observa que el VAN es mayor que cero, por lo cual se acepta el proyecto.

5.5.4. Tasa Interna de Retorno (TIR).

Después de calcular el VAN es necesario calcular la TIR con la finalidad de saber si la TIR es mayor o menor de la tasa de interés para tomar la decisión. Los resultados obtenidos de la hoja de cálculo Excel se muestran en la siguiente tabla.

¹⁰⁸ Elaboración propia.

Tabla 23: Cálculo de la TIR.¹⁰⁹

TASA DE INTERÉS	TIR	TOMA DE DECISIÓN
19%	36%	SE ACEPTA EL PROYECTO

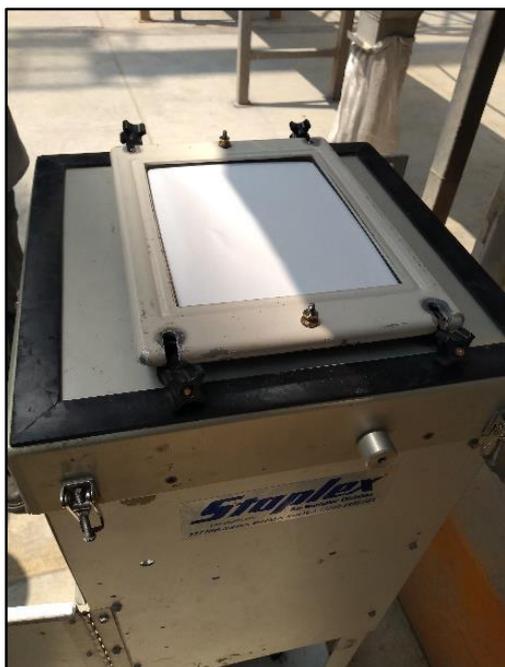
En la tabla 23 se observa que la TIR es superior a la tasa de interés motivo por el cual se acepta el proyecto.

¹⁰⁹ Elaboración propia.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- a) Se determinó la cantidad de material particulado con diámetro inferior a $10\mu\text{m}$ PM_{10} , el filtro del equipo muestreador de aire de alto volumen cuyo principio de funcionamiento es la gravimetría, arrojó un valor de $2\,790\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante un período de 24 horas. Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire peruanos según DS N°003-2017-MINAM establecen, no exceder más de 7 veces al año el valor de $100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} durante 24 horas. Sin embargo, en el proceso de secado de arroz, el valor excede lo establecido en la norma. En la figura que se muestra a continuación se muestra el filtro antes y después de la muestra.



Antes



Después

- b) Se determinó una velocidad de captura de 0,87 m/s para las campanas de las fajas transportadoras, no obstante, la velocidad de captura para las campanas que operan en los elevadores de cangilones es 0,98m/s.

Las campanas que operan sobre las fajas transportadoras deben aspirar un caudal de 0,46m³/s mientras que las campanas que se instalarán en los elevadores de cangilones deben extraer un caudal de 0,25m³/s, por otro lado, el caudal total del sistema es de 10 829 m³/h (3,01 m³/s).

Se estableció una velocidad de transporte de 18 m/s, este dato en conjunto con el caudal de aspiración de cada campana permitió calcular el diámetro de los conductos en cada tramo, los resultados de los diámetros se muestran en la tabla 10.

Se calculó el factor de pérdidas para las campanas de las fajas transportadoras $F_c = 0,15$ esto permitió calcular la pérdida de carga en la campana $h_c = 0,15 \times PD$, y el factor de pérdidas para las campanas de los elevadores de cangilones es $F_c = 0,16$ este dato facilitó el cálculo de la caída de presión $h_c = 0,16PD$. Las pérdidas de carga de las campanas, sistema de conductos, codos, uniones, transiciones se muestran en la tabla 10 por tramo.

Se seleccionó el purificador de aire de la marca Bühler cuyo modelo es AHMY-78/18 el cual tiene una capacidad de aire entre (9 522 a 12 696) m³/h, el caudal de aspiración total del sistema es 10 829 m³/h valor que se

encuentra dentro de la capacidad del sistema seleccionado. Además, la pérdida de carga o caída de presión es -149,9 mmcda.

- c) Se eligió un ventilador centrífugo con álabes curvados hacia atrás. Este ventilador operará en zona de aire limpio aspirará 10 829 m³/h, además, supera la pérdida de carga de 284,4 mmcda, la eficiencia es 0,53. El ventilador que cumple con estos requerimientos tiene una potencia de 15 kW y viene en conjunto con las mangas filtro de chorro pulsante.
- d) Se elaboró el presupuesto total para la implementación de la propuesta del Sistema de Aspiración Localizado. El monto asciende a: S/.135 591,00
- e) Se hizo la evaluación económica obteniéndose que para una tasa de interés del 19% se obtuvo un $VAN = S/.96\ 074.45 > 0$ y la TIR de 38%. Motivo por el cual se acepta la propuesta.

6.2. Recomendaciones.

Se recomienda verificar las conexiones de entre campanas, conductos, y accesorios con la finalidad de evitar aspiración de aire del exterior que no sea la campana. Realizar inspecciones en el sistema de conductos y accesorios para verificar que no existe sedimentación de material particulado y desgaste por abrasión en los mismos. Seguir el plan de mantenimiento del fabricante del ventilador y motor del ventilador: lubricación de rodamientos, cambio de rodamientos, barnizado de bobinas, inspección de álabes del ventilador.

Con respecto a la esclusa: verificar el cronograma de mantenimiento para verificar el estado de las platinas ya que sufren desgaste por abrasión.

En el sistema de limpieza verificar que no existe fuga de aire, estado de las válvulas solenoide, verificar las mangas filtro que no existe aberturas ya que el ingreso de aire contaminado deteriora los álabes del ventilador.

En el sistema de protección limpiar periódicamente los contactos del contactor y realizar reajustes al conexionado con la finalidad de evitar falsos contactos.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Abadía, B., Bartosik, R., Cardoso, L., De la Torre, D., Giorda, J., Hoyos, M., & Rúveda, C. (2013). *Manual de Buenas Prácticas en Poscosecha de Granos Hacia el agregado de valor en origen de la producción primaria*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- 2) Alden, J. L. (1982). *Design of Industrial Ventilation Systems* (Fifth Edition ed.). New York, USA: Industrial Press Inc.
- 3) American Conference of Governmental Industrial Hygienist. (1998). *ACGIH: Industrial Ventilation Manual*. Cincinnati, Ohio 45240-1634: American Conference of Governmental Industrial Hygienist 23rd Edition.
- 4) Association, A. A. (1992). *Air Pollution Engineering Manual*. New York.
- 5) Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de proyectos* (Sexta Edición ed.). México, D.F.: Mc Graw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- 6) Burgess, W. A., Ellenbecker, M. J., & Treitman, R. D. (2004). *Ventilation For Control Of The Work Environment* (Second Edition ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- 7) Corbitt, R. A. (1990). *Standard Handbook of Environmental Engineering*. New York: MC Graw Hill.
- 8) D'Antonino Faroni, L. R., Martin Teixeira, M., Marques Pereira, J. A., Marques Pereira, A. L., & Pereira da Silva, F. A. (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural*. Santiago: Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe.
- 9) DS N° 003-2017-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establece Disposiciones Complementarias. (7 de 06 de 2017). *El Peruano*, pág. 4.

- 10) Flores Morales, A. (2009). Instalación de Ventilación de Laboratorios con Extracción de Gases. (*Tesis para optar el Título de ingeniero Mecánico*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- 11) Hugo, W., & Godiño, M. (2000). *Tecnología de almacenamiento de granos de Trigo*. Montevideo-Uruguay: Hemisferio Sur S.R.L.
- 12) Morales Castro, A., & Morales Castro, J. (2009). *Proyectos de inversión Evaluación y Formulación* (Primera Edición ed.). México, D.F.: Mc Graw-Hill/interamericana Editores, S.A. de C.V. .
- 13) Niveló Chalco, J. P., & Ugalde Pacheco, J. E. (2011). Diseño de un sistema de extracción de polvo para la empresa ISOMET (división TELARTEC, productora de telas de poli-algodón); perteneciente al Grupo Empresarial Gerardo Ortiz Cía. Ltda. *Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico con Mención en Diseño de Máquinas*. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Cuenca.
- 14) Orozci barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, M., Rodríguez Vidal, F. J., & Alfayate Blanco, J. M. (2003). *Contaminación Ambiental una Visión desde la Química*. España: Thomson Editores.
- 15) Perry, R. h. (1984). *Robert's Chemical Engineers Handbook* (Vol. 6th Edition). New York: Mc Graw Hill.
- 16) Sáenz, C. (2008). *Protección Atmosférica*.
- 17) Salinero, M. (2013). Diseño de una banda transportadora Mediante Guide MatLab. (*Proyecto fin de carrera*). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid.
- 18) Schnelle, K. B., & Brown, C. A. (2002). *Air Pollution Control Technology Handbook*. New York: CRC Press.

- 19) War, K., & Cecil F, W. (2002). *Contaminación del Aire Origen y Control*. Mexico DF: Limusa.
- 20) Woodard, K. (1998). *Documento de Técnicas de Control de Materia Particulada Fina Proveniente de Fuentes Estacionarias*. North Carolina.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Distribución general de la planta Induamerica.

ANEXO N° 02: Distribución de maquinaria del área de secado.

ANEXO N° 03: Factor de pérdidas en el ingreso de campanas.

ANEXO N° 04: Factor de pérdida en uniones.

ANEXO N° 05: Factor de pérdida en codos.

ANEXO N° 06: Factor de pérdida en conductos rectos.

ANEXO N° 07: Resultado de la muestra de PM₁₀.

ANEXO N° 08: Cotización de campanas y conductos.

ANEXO N° 09: Cotización sistema de limpieza mangas filtro.

ANEXO N° 10: Cotización sistema eléctrico.

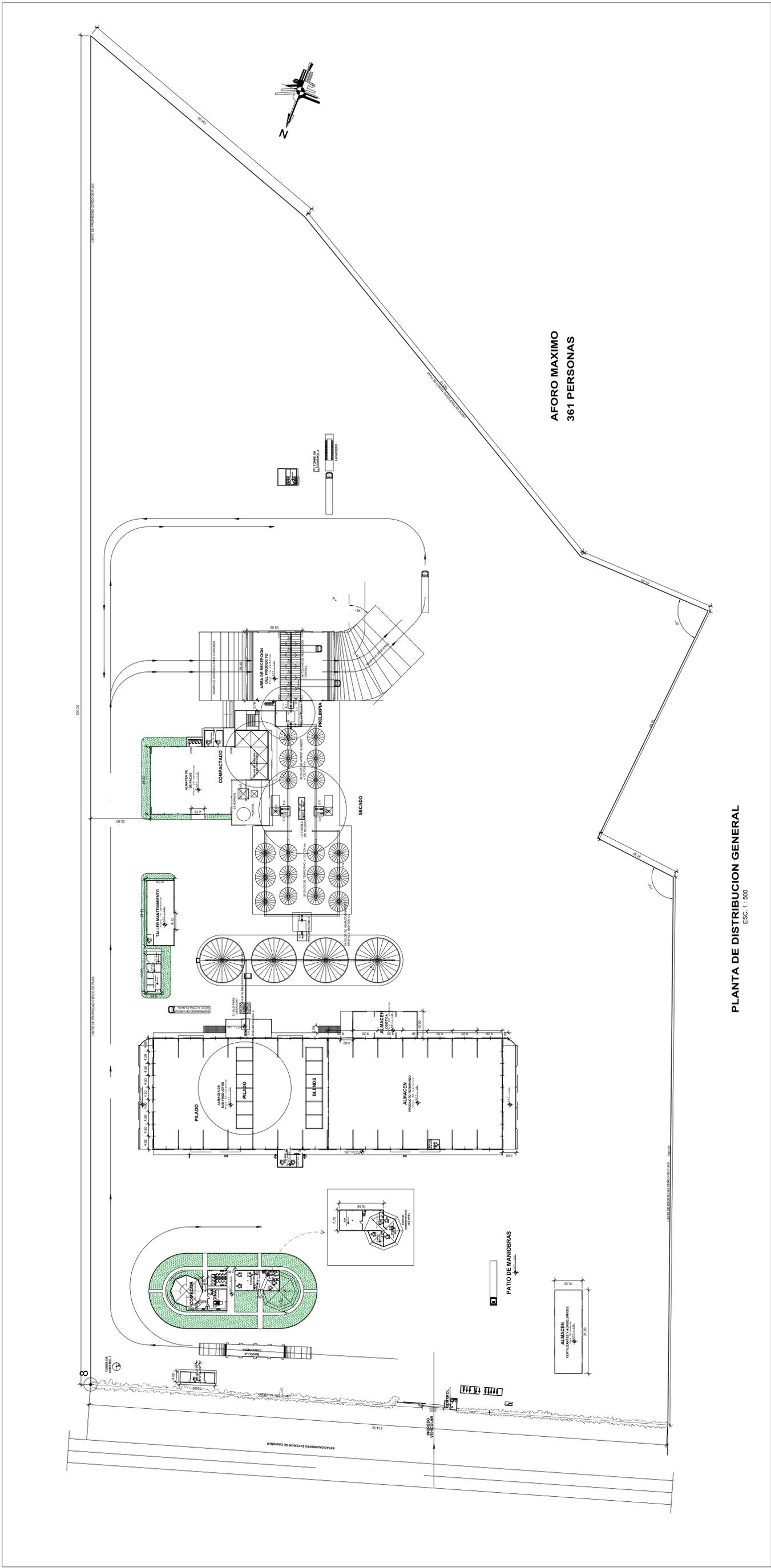
ANEXO N° 11: Cotización tubería de aire comprimido.

ANEXO N° 12: Día del muestreo.

ANEXO N° 13: Diagrama de arranque y paro del ventilador.

ANEXO N° 14: Diagrama de arranque y paro de la esclusa.

ANEXO N° 01: Distribución general de la planta Induamerica.



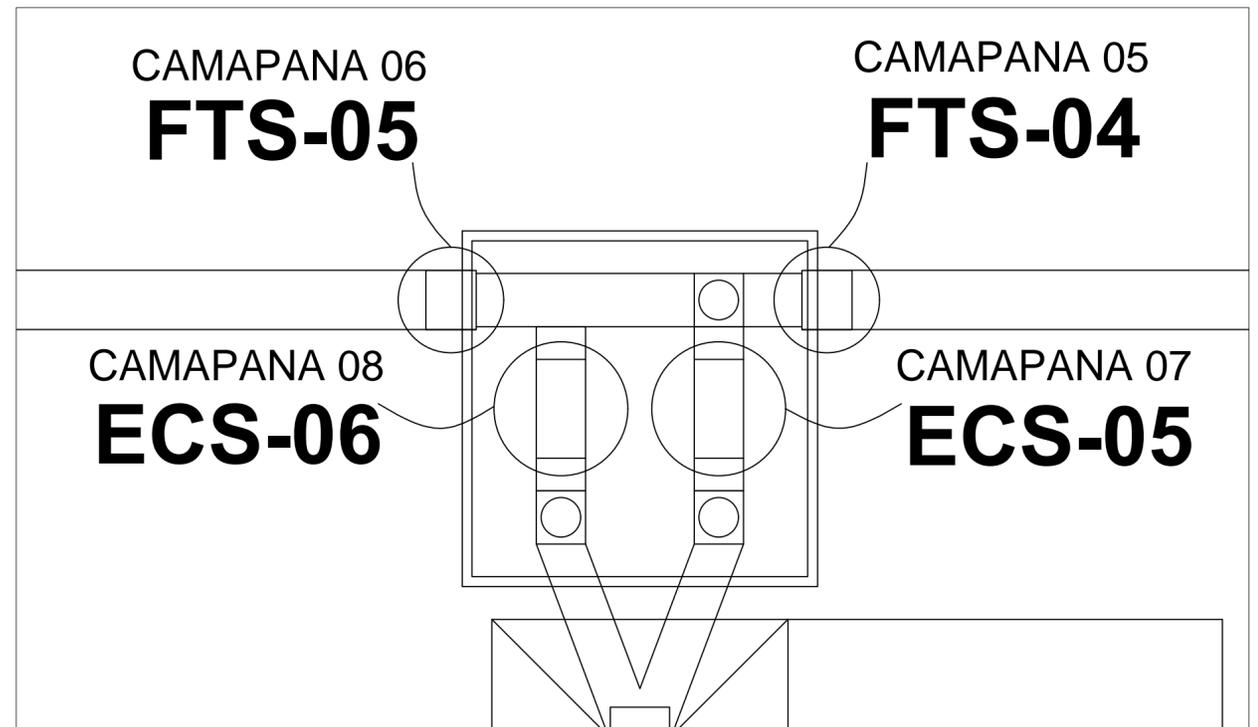
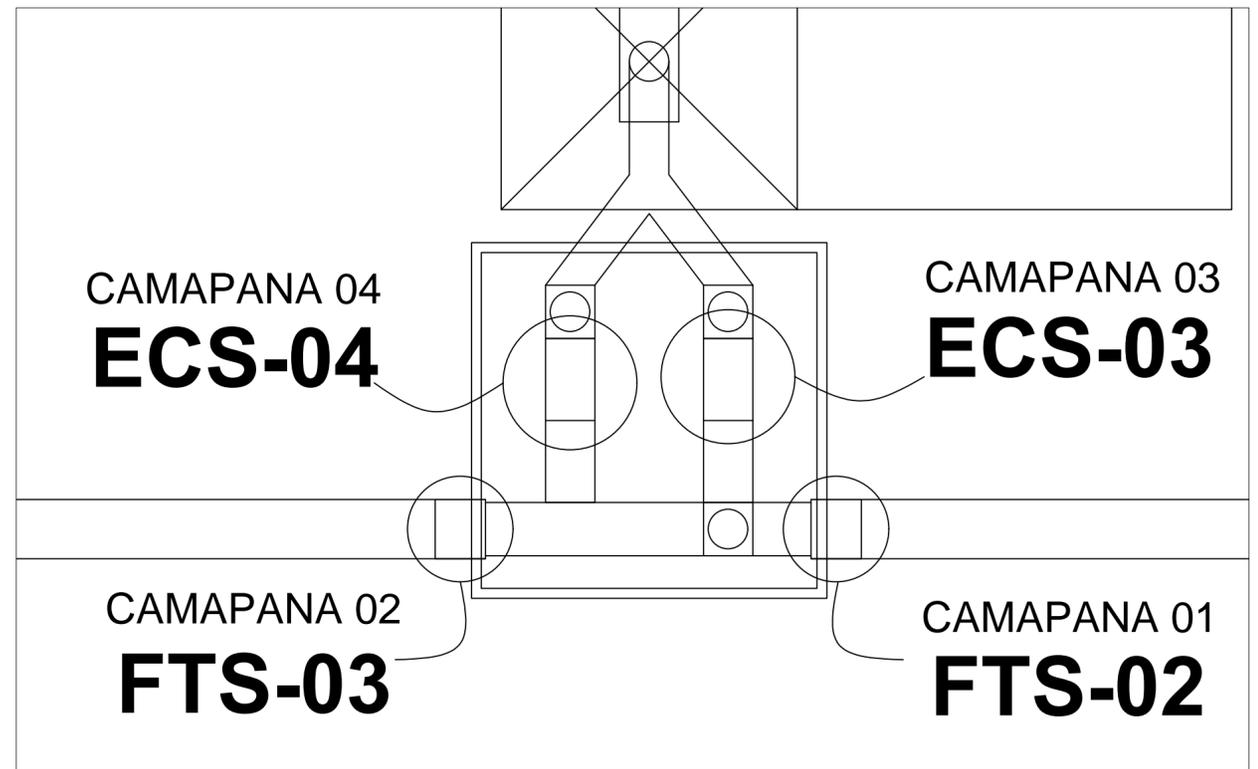
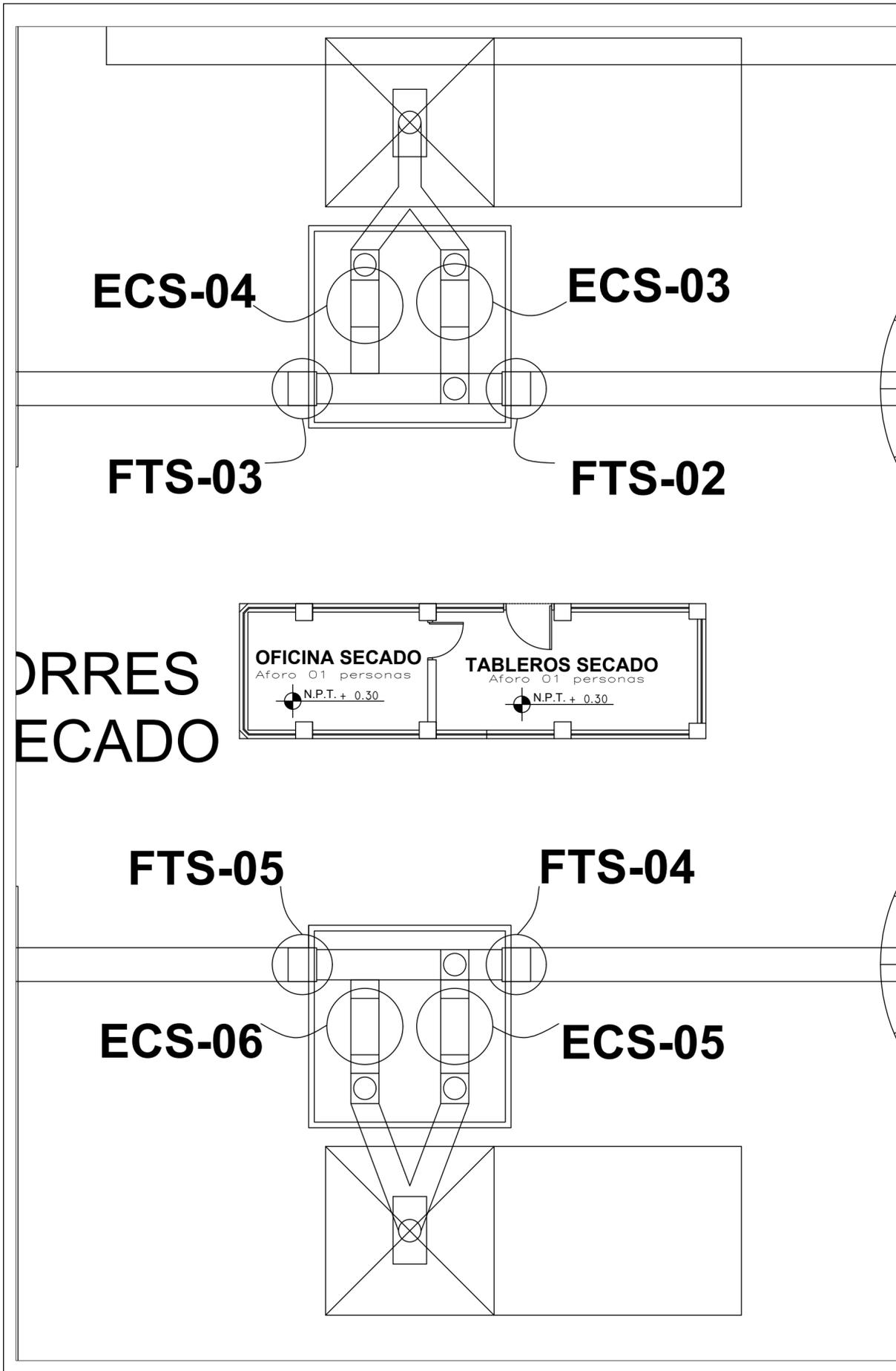
AFORO MAXIMO
361 PERSONAS

PLANTA DE DISTRIBUCION GENERAL
ESC. 1 : 500

COMPLEJO AGROINDUSTRIAL	
PROYECTO:	PLANO DISTRIBUCION GENERAL
PROPIETARIO:	INDUAMERICA TRADE S.A.
DIRECCION:	CTRA. F. BELAUDE T. KM. 706.7 CP. SAN JOSE - SAN RAFAEL BELLAVISTA - SAN MARTIN
FECHA:	DICIEMBRE - 2016
ESCALA:	1:500
RESPONSABLE:	ARC. DONALD JARA PIJUECAS CAP. N° 12528

A-01

ANEXO N° 02: Distribución de maquinaria del área de secado



ANEXO N° 03: Factor de pérdidas en el ingreso de campanas



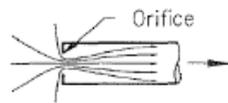
$h_e = 0.93 VP_d$
PLAIN DUCT END



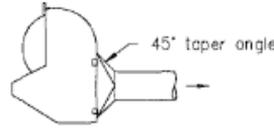
$h_e = 0.49 VP_d$
FLANGED DUCT END



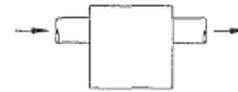
$h_e = 0.04 VP_d$
BELLMOUTH ENTRY



$h_e = 1.78 VP_{Orifice}$
SHARP-EDGED ORIFICE



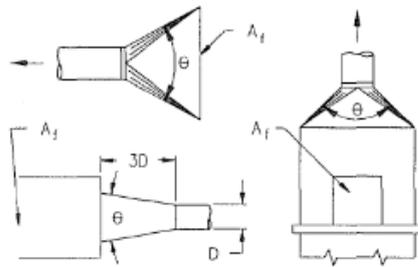
$h_e = 0.4 VP_d$ (tapered take-off)
 $h_e = 0.65 VP_d$ (no taper)
STANDARD GRINDER HOOD



$h_e = 1.5 VP_d$
TRAP OR SETTLING CHAMBER

TAPERED HOODS

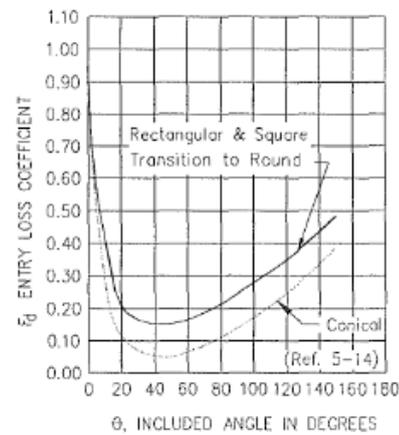
Flanged or unflanged; round, square or rectangular. θ is the major angle on rectangular hoods.



Face area (A_f) at least 2 times the duct area.

θ	ENTRY LOSS (h_d)	
	ROUND	RECTANGULAR
15°	0.15 VP	0.25 VP
30°	0.08 VP	0.16 VP
45°	0.06 VP	0.15 VP
60°	0.08 VP	0.17 VP
90°	0.15 VP	0.25 VP
120°	0.26 VP	0.35 VP
150°	0.40 VP	0.48 VP
180°	0.50 VP	0.50 VP

VP = Duct VP = VP_d
Note: 180° values represent round ducts butted into back of booth or hood without a rectangular to round transition.

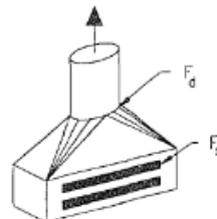


COMPOUND HOODS

A compound hood, such as the slot/plenum shown to the right, would have 2 losses, one through the slot and the other through the transition into the duct.

The slot entry loss coefficient, F_s , would have a value typically in the range of 1.00 to 1.78 (see Chapters 3 and 10).

The duct entry loss coefficient is given by the above data for tapered hoods.



$$h_e = F_s VP_s + F_d VP_d$$

MISCELLANEOUS VALUES

HOOD	ENTRY LOSS COEFFICIENT F_d
Abrasive blast chamber	1.0
Abrasive blast elevator	2.3
Abrasive separator	2.3
Elevators (enclosures)	0.69
Flanged pipe plus close elbow	0.8
Plain pipe plus close elbow	1.60

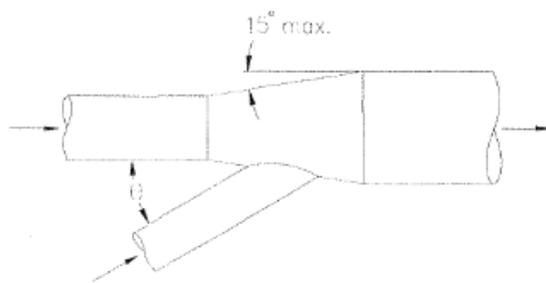
AMERICAN CONFERENCE
OF GOVERNMENTAL
INDUSTRIAL HYGIENISTS

HOOD ENTRY LOSS COEFFICIENTS

DATE 1-95

FIGURE 5-13

ANEXO N° 04: Pérdida de carga en uniones.



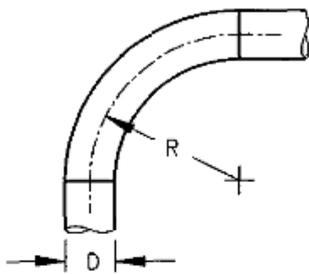
Note: Branch entry loss assumed to occur in branch and is so calculated.

Do not include an enlargement regain calculation for branch entry enlargements.

Angle θ Degrees	Loss Fraction of VP in Branch
10	0.06
15	0.09
20	0.12
25	0.15
30	0.18
35	0.21
40	0.25
45	0.28
50	0.32
60	0.44
90	1.00

BRANCH ENTRY LOSSES

ANEXO N° 05: Factor de pérdida de carga en codos.



R/D	Pérdida de carga Fracción de PD
2,75	0,26
2,50	0,22
2,25	0,26
2,00	0,27
1,75	0,32
1,50	0,39
1,25	0,55

CODOS DE SECCIÓN CIRCULAR

codos de 60° = 2/3 pérdida
 codos de 30° = 1/3 pérdida

ANEXO N° 06: Factor de pérdida en conductos rectos.

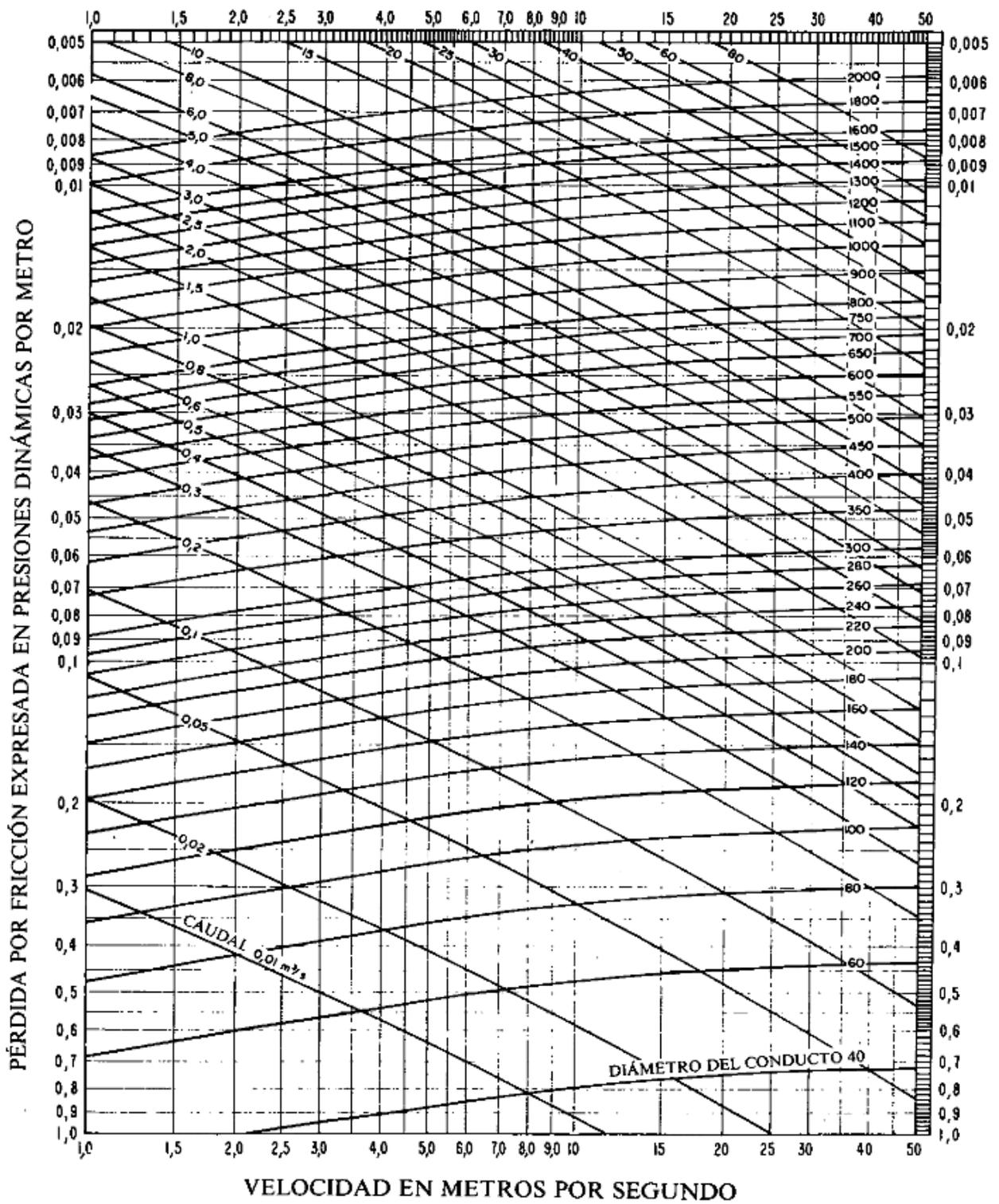


FIGURA 5-18

$$H_f (PD/m) = 0,0155 \frac{V^{0,533}}{Q^{0,612}} = \frac{27,8}{Q^{0,079} D^{1,066}}$$

H_f : Factor de pérdidas por metro
 V: Velocidad, m/s
 Q: Caudal, m³/s
 D: Diámetro, mm

ANEXO N° 07: Resultado de la muestra de PM₁₀.

INFORME DE ENSAYO 023-2019

Nº de protocolo : 023-2019
Cliente : Nilson Robert Barahona Suxe
Muestra(s) declaradas(s) : Muestra de aire (material particulado-PM-10)
Procedencia de la muestra : Muestreado por área de monitoreos de SERVITA EIRL
 Punto de muestreo: Linea 01-Area de secado
Cantidad de muestra : 01 muestra
Forma de presentación : Filtro ded fibra de vidrio
Identificación de la muestra : Cod. Lab. 23- 1-2019
Fecha de recepción de la muestra : 26-02-19
Fecha de inicio de análisis : 26-02-19
Fecha de emisión de informe : 28-02-19

Código de laboratorio	23-1-2019	
Descripción del punto de muestreo	Area de secado empresa INDUAMERICA TRADE S.A San Rafael – Bellavista – San Martin	
Fecha inicial /hora de muestreo	25 02 19/ 13:00 horas	
Fecha final/ hora de muestreo	26-02-19/ 13:00 horas	
Parámetro de ensayo	Unidades	Resultados
Material particulado (PM-10)	ug/m ³	2790

.....fin de documento.....

SERVITA EIRL

 Ing. Alfonso Rojas Barudáez
 TITULAR GERENTE

Jiron Junin Nº 847-Moyobamba
 cel: 942957540

RUC: 20531584474
 E-mail: servitaeiri@outiook.com

ANEXO N° 08: Cotización de campanas y conductos.



Fabricaciones Industriales & Servicios Generales

RESUMEN:

DESCRIPCIÓN	Costo
Campanas	S/ 1.581,20
Conductos	S/ 5.005,84
Codos	S/ 7.670,00
Uniones	S/ 422,44
Transiciones	S/ 443,68
Montaje	S/ 3.000,00

El costo total del sistema de conductos es: **S/. 15 123,26** además de ello la mano de obra por el montaje es **S/. 3 000,00**.

La suma total del sistema de conductos y el mano de obra por el montaje es: **S/. 18 123,16**. Este costo incluye IGV.

ANEXO N° 09: Cotización sistema de limpieza mangas filtro.

**OFERTA
RC-190313-GB**



Induamerica Trade S. A.

Crt. F. Belaunde T. km 462 el Porvenir (Planta Industrial Rioja)
Rioja
San Martín
Perú

R.U.C. 20531524579

Nuestra referencia

Fecha	20/03/2019
Contacto	Enrique Niño
No. directo	+5716271000
Fax	+5716271003
E mail	enrique.nino@buhlergroup.com
Segmento	PSP

Agradecemos su consulta y les ofrecemos, sin ningún compromiso, en base a nuestras Condiciones Generales de Suministro que forman parte integrante de la presente oferta:

SISTEMA DE ASPIRACIÓN DE POLVO MOLINO DE ARROZ

Postfach 33 69
D-38023 Braunschweig
T +49 (0)531 594-0
www.buhlergroup.com/de

Gerente:
Flavio Díaz
Presidente del consejo de
vigilancia:
Stefan Scheiber

D-38114 Braunschweig
Emst-Amme-Str. 19
Braunschweig HRS 797
IVA-ID.: DE 114878673
St.Nr.:2314/201/00014

Commerzbank AG Braunschweig:
Cuenta 512809500, BLZ 270 400 80, BIC COBADEFF270
IBAN DE59 2704 0080 0512 8095 00,
Deutsche Bank AG Braunschweig:
Cuenta 046145900, BLZ 270 700 30, BIC DEUTDE2H270
IBAN DE89 2707 0030 0046 1459 00

Oferta RC-190313-GB
Fecha 20 de marzo del 2019
Página 4/10



RESUMEN DE PRECIOS

Posición	Cantidad	Descripción	Precio
A		SISTEMA DE ASPIRACIÓN (Sin Tubería)	USD
1	1	SISTEMA DE ASPIRACIÓN DE POLVO	22'300,00
2	1	SISTEMA DE LIMPIEZA DE MANGAS	5'500,00
3	1	SISTEMA DE EXPULSIÓN DE POLVO (ESCLUSA)	500,00
		TOTAL	USD 28'300,00

ANEXO N° 10: Cotización sistema eléctrico.



INGESA NORTE
RUC: 20270562966

www.ingesanorte.com

Principal: VICENTE DE LA VEGA N° 298 CHICLAYO
Telef: (074) 228527

Surcursal: AV. SULLANA SUR 144 PIURA
Telef: (073) 300400

COTIZACION: 009-00038610

FECHA : 04/05/2019

DATOS DEL CLIENTE:

SEÑOR : INDUAMERICA TRADE S.A
ATTE :
REFERENCIA :

DATOS DEL VENDEDOR:

VENDEDOR : SANTIAGO CASTRO TELLO
TELEFONO(S) : (074)-228527
CELULAR : 979433242
EMAIL : scastro

Estimados señores Por medio de la presente nos es grato cotizarles lo siguiente

ITM	CODIGO	MARCA	DESCRIPCION	U.M.	CANT.	P.UNIT.	DSCTO.(%)	TOTAL
1	534	INDEC	CABLE VULCANIZADO NMT 3 X 10 AWG	MTS	30.00	10.270	0.00	308.10
2	528	INDEC	CABLE VULCANIZADO NLT 3 X 16 AWG	MTS	30.00	3.020	0.00	90.61
3	2453	ABB	GUARDAMOTOR MS 132 - 1.6 / 1.0 - 1.6 A	UND	1.00	195.000	0.00	195.00
4	2153	ABB	GUARDAMOTOR MS 132 - 25 / 20 - 25 A	UND	1.00	278.000	0.00	278.00
5	1792	ABB	CONTACTOR AF26-30-00-13 (110...250 V)	UND	1.00	149.430	0.00	149.43
6	640	ABB	CONTACTO AUXILIAR CA 5 - 10 1 NA PARA SERIE A	UND	1.00	7.400	0.00	7.40
7	1791	ABB	CONTACTOR AF09-30-10-13 (100...250 V)	UND	1.00	68.200	0.00	68.20
8	1132	ABB	PULSADOR RASANTE COMPACTO ROJO BIZEL PLASTICO CP1 - 10R - 01	UND	2.00	12.520	0.00	25.04
9	1134	ABB	PULSADOR RASANTE COMPACTO VERDE BIZEL PLASTICO CP1 - 10G - 10	UND	2.00	12.520	0.00	25.04

EN: SOLES

*** Precios Unitarios Incluyen IGV

VALOR VENTA: S/ 971.89

IGV: S/ 174.94

TOTAL: S/ 1,146.83

CONDICION DE PAGO : CONTADO

VALIDEZ : 10 días

TIEMPO DE ENTREGA :

LUGAR DE ENTREGA :

CUENTAS CORRIENTES:

BCO CONTINENTAL: 03480100004111 NUEVOS SOLES
BCO DE CREDITO: 305-0046935-0-97 NUEVOS SOLES
BCO DE LA NACION: 0250001002 NUEVOS SOLES
BCO SCOTIABANK: 000378259 NUEVOS SOLES

La orden de compra entregada después del medio día, será considerada al día siguiente.

Sin otro particular, quedamos de ustedes.

.....
Atentamente

ANEXO N° 11: Cotización tubería de aire comprimido.



CHICLAYO: Domicilio Fiscal
 Av. Augusto B. Leguía N° 1050 Urb. San Lorenzo
 José Lronardo Ortiz - Chiclayo - Lambayeque
 E- mail:chiclayo@depositopakatnamu.com
 Teléf.: /074) 254375 - 256565 rpm:#966981894

R.U.C. 20131719559

PROFORMA

005 - Nº 055510 PP 005-0055510

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Chiclayo, sábado, 4-de mayo de 2019
 Señores: INDUAMERICA TRADE S.A
 R.U.C. 20531524579
 Domicilio: AV. CAJAMARCA SUR Nº504 NUEVA CAJAMARCA - CAJAMARCA

PESO TOTAL: 209.10 KG

CODIGO	DESCRIPCIÓN	CANT.	P. UNIT.	IMPORTE
30013	TUBO GALVANIZADO LIVIANO 1 1/2" X 2.9MM. X 6.40M	10	87.0000	870.00

PRECIOS SUJETOS A VARIACIÓN MATERIAL PUESTO EN ALMACÉN PAGO EFECTIVO AL CONTADO	VALOR DE VENTA	I.G.V.	PRECIO DE VENTA
	S/. 737.29	S/. 132.71	S/. 870.00

SON OCHOCIENTOS SETENTA CON 00/100 SOLES

SOLES S.E.-U.O.

DEL: 55001 AL 56000

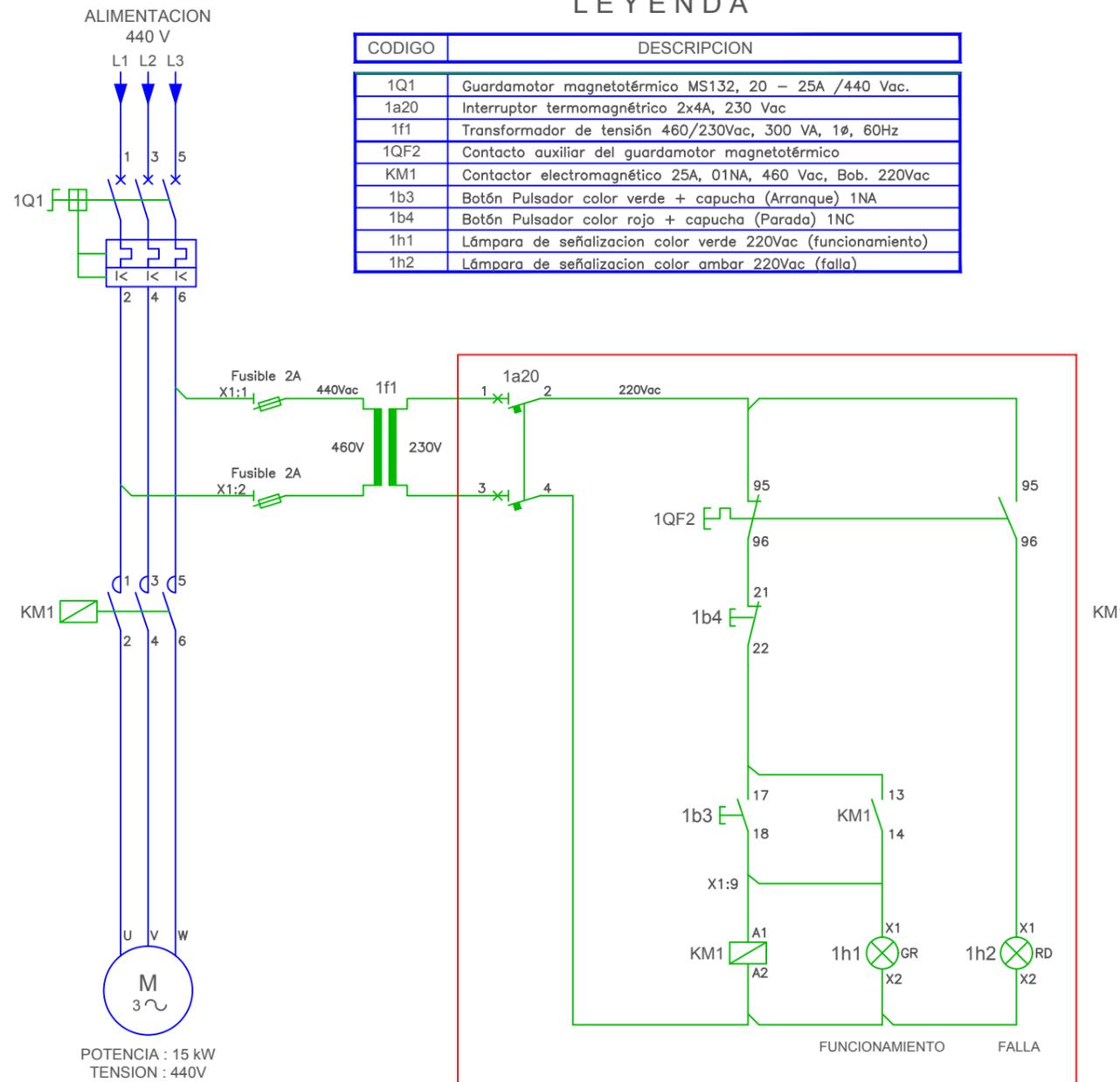
ANEXO N° 12: Día del muestreo de PM₁₀.



ANEXO N° 13: Diagrama de arranque y paro del ventilador.

LEYENDA

CODIGO	DESCRIPCION
1Q1	Guardamotor magnetotérmico MS132, 20 - 25A /440 Vac.
1a20	Interruptor termomagnético 2x4A, 230 Vac
1f1	Transformador de tensión 460/230Vac, 300 VA, 1Ø, 60Hz
1QF2	Contacto auxiliar del guardamotor magnetotérmico
KM1	Contactador electromagnético 25A, 01NA, 460 Vac, Bob. 220Vac
1b3	Botón Pulsador color verde + capucha (Arranque) 1NA
1b4	Botón Pulsador color rojo + capucha (Parada) 1NC
1h1	Lámpara de señalizacion color verde 220Vac (funcionamiento)
1h2	Lámpara de señalizacion color ambar 220Vac (falla)



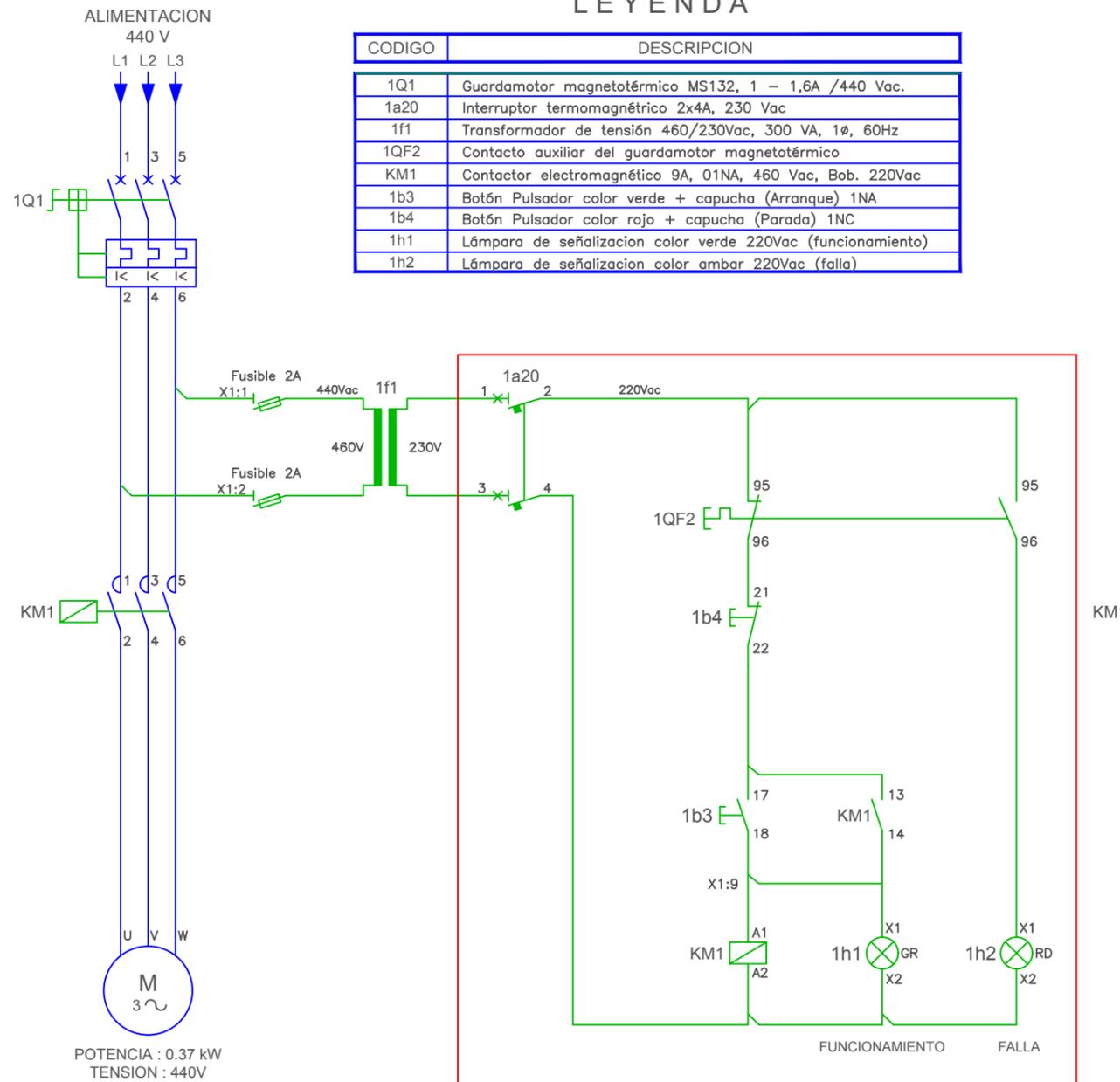
POTENCIA : 15 kW
TENSION : 440V

Proyecto: COMPLEJO AGROINDUSTRIAL		
Proyecto: CIRCUITO DE MANDO Y FUERZA 15kW - 440V		
Empresa: INDUAMERICA TRADE S.A	Lámina: A - 01	
Dirección: CTRA. F.BELAUDE T. KM 706.7 CP. SAN JOSE - SAN RAFAEL BELLAVISTA - SAN MARTIN		
Fecha: Octubre 2019	Escala: S/E	Responsable: BARAHONA SUXE NILSON ROBERT

ANEXO N° 14: Diagrama de arranque y paro de la esclusa.

LEYENDA

CODIGO	DESCRIPCION
1Q1	Guardamotor magnetotérmico MS132, 1 - 1,6A /440 Vac.
1a20	Interruptor termomagnético 2x4A, 230 Vac
1f1	Transformador de tensión 460/230Vac, 300 VA, 1Ø, 60Hz
1QF2	Contacto auxiliar del guardamotor magnetotérmico
KM1	Contactador electromagnético 9A, 01NA, 460 Vac, Bob. 220Vac
1b3	Botón Pulsador color verde + capucha (Arranque) 1NA
1b4	Botón Pulsador color rojo + capucha (Parada) 1NC
1h1	Lámpara de señalizacion color verde 220Vac (funcionamiento)
1h2	Lámpara de señalizacion color ambar 220Vac (falla)



CIRCUITO DE MANDO.

POTENCIA : 0.37 kW
TENSION : 440V

Proyecto: COMPLEJO AGROINDUSTRIAL		
Proyecto: CIRCUITO DE MANDO Y FUERZA 0.37kW - 440V		
Empresa:	INDUAMERICA TRADE S.A	Lámina:
		A - 02
Dirección:	CTRA. F.BELAUNDE T. KM 706.7 CP. SAN JOSE - SAN RAFAEL BELLAVISTA - SAN MARTIN	
Fecha:	Escala:	Responsable:
Octubre 2019	S/E	BARAHONA SUXE NILSON ROBERT