

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto Técnico

DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO Y VIRUTA DE
MADERA PARA LA CARPINTERÍA DE LA FUNDACIÓN SALESIANA “PACES”

Trabajo de titulación previo a la
obtención del Título de
Ingeniero Mecánico

Autores:

Andrés Alberto Márquez Quizhpi
Jonathan Patricio Ulloa Montero

Tutor:

Ing. Nelson Jara Cobos

Cuenca - Ecuador
2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Andrés Alberto Márquez Quizhpi con documento de identificación N° 0104304605 y Jonathan Patricio Ulloa Montero con documento de identificación N° 0105306385. Manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación, intitulado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO Y VIRUTA DE MADERA PARA LA CARPINTERÍA DE LA FUNDACIÓN SALESIANA “PACES”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Junio del 2018

Andrés Alberto Márquez Quizhpi
0104304605

Jonathan Patricio Ulloa Montero
0105306385

CERTIFICACIÓN

Yo Nelson Gustavo Jara Cobos, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO Y VIRUTA DE MADERA PARA LA CARPINTERÍA DE LA FUNDACIÓN SALESIANA “PACES”, realizado por los estudiantes: Andrés Alberto Márquez Quizhpi y Jonathan Patricio Ulloa Montero, obteniendo el “Proyecto Técnico” que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Junio del 2018



TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACION

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros Andrés Alberto Márquez Quizhpi y Jonathan Patricio Ulloa Montero, autores del trabajo de titulación DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO Y VIRUTA DE MADERA PARA LA CARPINTERÍA DE LA FUNDACIÓN SALESIANA “PACES”, certificamos que el total contenido del proyecto técnico es de nuestra responsabilidad y autoría.

Cuenca, Junio del 2018.



Andrés Alberto Márquez Quizhpi

0104304605



Jonathan Patricio Ulloa Montero

0105306385

AGRADECIMIENTO

La vida está llena de retos, y uno de ellos es la universidad. Tras verme dentro de ella me he dado cuenta que más allá de ser un reto, es una base no solo para mi entendimiento del campo en el que me he visto inmerso, sino para lo que concierne a la vida y mi futuro.

Le agradezco a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este.

Agradezco a mi compañero de tesis Jonathan Ulloa por el apoyo y el trabajo en conjunto que realizamos para la culminación de este proyecto.

Agradezco a la fundación PACES por la apertura a la realización del presente proyecto dentro de su taller de carpintería.

Al Ing. Nelson Jara por haber confiado en mí, y que con sus conocimientos, experiencia y motivación ha logrado que pueda concluir mi carrera con éxito.

Andrés.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, agradecer a mi familia y amigos por el apoyo constante en cada paso que doy, en especial a mi madre por todos sus consejos, ánimos y apoyo.

Agradezco a mis formadores profesionales de la Universidad Politécnica Salesiana, de manera especial al Ingeniero Nelson Jara Cobos, tutor y guía de este proyecto por la paciencia y el apoyo dado en este proceso.

Dar mi agradecimiento a Andrés, compañero y amigo, que junto a él hemos podido desarrollar este proyecto con la mejor predisposición posible compartiendo conocimientos para la culminación del mismo.

Agradezco a la fundación salesiana PACES por brindarme la oportunidad de realizar el presente proyecto dentro de su taller de carpintería.

Jonathan

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Miguel y Janeth, quienes fueron un gran apoyo emocional durante el tiempo en que escribía esta tesis.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

Andrés.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado con profundo amor a mi madre, Patricia Montero, por ser ejemplo de perseverancia y apoyo incondicional, quien, con su gran sabiduría me ha enseñado a que siempre habrá tropiezos pero con tenacidad se logra salir adelante.

A mi hijo Daniel, un pilar importante en mi vida para continuar con mis sueños y velar por darle el mejor de los futuros.

Así mismo dedicar a todas las personas que me apoyaron incansablemente, padres, tíos, primos y amigos por cada palabra de aliento.

Jonathan

ÍNDICE

Cesión de derechos de autor.....	I
Certificación.....	II
Declaratoria de responsabilidad.....	III
Agradecimiento.....	IV
Dedicatoria.....	VI
Índice.....	VIII
Índice de figuras.....	XI
Índice de tablas.....	XIII
DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO Y VIRUTA DE MADERA PARA LA CARPINTERÍA DE LA FUNDACIÓN SALESIANA “PACES” ..	
1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del problema.....	1
2.1 Justificación.....	2
3. Objetivos.....	2
3.1 Objetivo General.....	2
3.2 Objetivos Específicos.....	2
4. Marco Teórico.....	3
4.1 Situación actual de la carpintería del proyecto Paces.....	3
4.1.1 Generalidades.....	3
4.1.2 Instalaciones de la carpintería del proyecto PACES.....	4
4.1.3 Maderas usadas en la industria de la carpintería.....	6
4.1.3.1 Maderas naturales o macizas.....	6
4.1.3.2 Maderas Tropicales.....	7
4.1.3.3 Maderas Industriales.....	8
4.1.4 Generación de viruta y polvo de madera en la Carpintería del programa PACES.....	10
4.1.4.1 Viruta y residuos que se producen en las máquinas.....	10
4.1.4.2 Medición de partículas suspendidas en el aire.....	10

4.2	Tecnologías utilizadas en la extracción de polvo y viruta de madera	11
4.2.1	Tipos de sistemas de extracción.....	11
4.2.1.1	Sistemas de extracción portátiles.....	11
4.2.1.2	Sistemas de extracción por grupos.....	12
4.2.1.3	Sistemas de extracción General.	12
4.2.1.3.1	Ventilación por dilución.	12
4.2.1.3.2	Ventilación de control térmico.....	13
4.2.1.4	Sistemas de extracción localizada.	13
4.2.2	Componentes de un sistema de extracción localizada.	14
4.2.2.1	Campana de extracción de aire.....	14
4.2.2.2	Depuración de aire.....	15
4.2.2.3	Captadores de polvo.	16
4.2.2.3.1	Precipitadores electrostáticos.....	16
4.2.2.3.2	Filtros de tela.....	17
4.2.2.3.3	Depuradores húmedos.	18
4.2.2.3.4	Separadores centrífugos.....	19
4.2.2.3.5	Cámaras de sedimentación.	19
4.2.2.4	Ciclones.....	19
4.2.2.5	Silos.....	20
4.2.2.6	Ventiladores.....	20
4.2.2.6.1	Ventiladores Axiales.	21
4.2.2.6.2	Ventiladores Centrífugos.....	21
4.2.3	Análisis de resultados.....	22
4.3	Diseño del sistema de extracción localizada para la carpintería del proyecto PACES. .	22
4.3.1	Restricciones de diseño.	22
4.3.2	Datos adquiridos.....	24
4.3.3	Cálculos analíticos.	25
4.3.3.1	Caudal.	25
4.3.3.2	Presión dinámica.....	27
4.3.3.2.1	Determinación del peso específico.	28

4.3.3.3 Presión Estática.	29
4.3.3.3.1 Resistencia Unitaria.	31
4.3.3.3.2 Factores de resistencia para distintos elementos.	31
4.3.3.4 Selección del extractor.	33
4.3.3.5 Dimensionado del ciclón.	35
4.3.3.6 Dimensionado del Silo.	36
4.4 Simulación ANSYS (Tramo 5).	38
4.4.1 Creación de la geometría a simular.	38
4.4.2 Definición de entradas y salidas.	39
4.4.3 Mallado.	39
4.4.4 Condiciones de entrada.	40
4.4.4.1 Propiedades del fluido.	41
4.4.5 Solve Control.	42
4.4.6 Solución.	43
4.4.6.1 Solución de velocidades.	43
4.4.6.2 Solución de presión.	43
4.4.7 Comparación de resultados analíticos y de simulación.	44
4.4.7.1 Velocidades.	44
4.4.7.2 Pérdidas de presión.	44
4.4.7.2 Comparación de Pérdida totales en el tramo 5.	45
4.4.8 Análisis comparativo.	45
5. Metodología.	46
5.1 Tipo de investigación.	46
5.2 Diseño de la investigación.	47
6. Resultados y discusión.	47
6.1 Análisis de factibilidad técnica y económica.	47
6.1.1 Factibilidad técnica.	47
6.1.1.1 Ducteria.	47
6.1.1.2 Accesorios.	48

6.1.1.3 Aspirador (extractor).....	49
6.1.1.4 Ciclón.....	50
6.1.1.4 Silo.....	50
6.1.1.5 Proyección del diseño final.....	51
6.1.2 Factibilidad Económica.....	51
6.1.2.1 Sistema de acumulación del costo: Ordenes de producción.....	52
6.1.2.2 Conceptos del costo.....	52
6.1.2.3 Costos de construcción.....	53
6.1.2.3.1 Costos de construcción propia.....	53
6.1.2.3.2 Costos de construcción “El Micrómetro”.....	54
6.1.2.3.3 Costos de construcción “Electro Refrigeración”.....	55
6.1.2.4 Comparación de costos.....	55
6.1.3 Análisis de costos.....	56
6.1.3.3.1 Selección de la mejor oferta.....	56
Conclusiones.....	57
Recomendaciones.....	58
Trabajos futuros.....	58
Referencias bibliográficas.....	59
Anexos.....	61
Anexo A1.....	61
Anexo A2.....	64
Anexo A3.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del taller de carpintería del proyecto PACES. Fuente: Autores/Google maps.....	3
Figura 2. Distribución de equipos. Fuente: Autores.....	5
Figura 3. Maderas Industriales. [2].....	8
Figura 4. Maderas a partir de partículas. [2].....	9

Figura 5. Concentración de particulado. Fuente: Autores.....	11
Figura 6. Sistema de extracción portátil. Fuente: [6].....	12
Figura 7. Sistema de extracción por grupos. Fuente: [9].....	12
Figura 8. Sistema de extracción por grupos. Fuente: [11].....	13
Figura 9. Sistema de extracción localizada. Fuente: [13].....	13
Figura 10. Campana. Fuente [15]......	14
Figura 11. Cabina total y parcial. Fuente: [17].....	15
Figura 12. Campana exterior. Fuente: [17]......	15
Figura 13. Precipitadores electrostáticos. Fuente: [10].....	16
Figura 14. Ciclones. Fuente: [19].....	19
Figura 15. Tipos de ciclones. Fuente: [20].....	20
Figura 16. Ventilador Axial. Fuente: [21].....	21
Figura 17. Ventilador centrífugo. Fuente: [21].....	21
Figura 18. Ubicación de la carpintería respecto a sus alrededores. Fuente: Autores.....	23
Figura 19. Distribución de la red de tubería para el sistema de extracción. Fuente: Autores.	24
Figura 20. Presión dinámica. Fuente: Autores.....	28
Figura 21. Presión Estática. Fuente: Autores.	30
Figura 22. Curva Característica del ventilador. Fuente: [7].....	33
Figura 23. Ingreso de datos en el software. Fuente: [24].....	34
Figura 24. Extractores de (a) Media presión con impulsor hacia atrás. (b) Alta presión con impulsor hacia atrás. (c) Media presión con impulsor hacia atrás.	34
Figura 25. Nomenclatura de dimensiones. Fuente: Autores.	35
Figura 26. Dimensiones de Silo. Fuente: Autores.....	37
Figura 27. Geometría del tramo 5. Fuente: Autores.	39
Figura 28. Entradas y salidas. Fuente: Autores.....	39
Figura 29. Condiciones del mallado. Fuente: Autores.	40
Figura 30. Mallado. Fuente: Autores.....	40
Figura 31. Asignación de condiciones de entrada y salida. Fuente: Autores.....	41
Figura 32. Presión en la salida del tramo 5. Fuente: Autores.	41
Figura 33. Densidad del fluido. Fuente: Autores.....	41
Figura 34. Configuración para la solución. Fuente: Autores.....	42
Figura 35. Mapa de velocidades. Fuente: Autores.	43

Figura 36. Mapa de pérdidas de presión. Fuente: Autores.....	44
Figura 37. Comparación de pérdidas de presión. Fuente: Autores	45
Figura 38. Comparación de pérdidas totales. Fuente: Autores.....	45
Figura 39. Flujograma de investigación. Fuente: Autores	47
Figura 40. Selección del extractor. Fuente: [24].....	50
Figura 41. Dimensiones del silo. Fuente: Autores	50
Figura 42. Esquema actual del taller. Fuente: Autores.....	51
Figura 43. Proyección final del sistema de extracción. Fuente: Autores.....	51
Figura 44. Elementos del costo. Fuente: Autores.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Máquinas y equipos con los que cuenta la carpintería del proyecto PACES. Fuente: Autores.....	4
Tabla 2. Pesos Reales. Fuente: Autores.....	10
Tabla 3. Pesos para los cálculos. Fuente: Autores	10
Tabla 4. Concentración de particulado. Fuente: Autores.....	11
Tabla 5. Resumen de los filtros de tela y sus características. Fuente: [10]	18
Tabla 6. Diámetros de las tomas de aspiración para el sistema. Fuente: Autores.	25
Tabla 7. Velocidades en los conductos para diversos contaminantes. [22] [12].....	25
Tabla 8. Cálculo del caudal de los ductos del sistema. Fuente: Autores.	27
Tabla 9. Relación Altura/Presión atmosférica m.s.n.m. Fuente: Autores	29
Tabla 10. Cálculo de pérdidas de presión y coeficientes de resistencia. Fuente: Autores..	30
Tabla 11. Accesorios y coeficientes de fricción. Fuente: Autores.	31
Tabla 12. Pérdidas de presión totales. Fuente: Autores.	32
Tabla 13. Equivalencia de unidades. Fuente: Autores.	33
Tabla 14. Características técnicas del extractor. Fuente: Autores.....	33
Tabla 15. Modelos de extractores encontrados en el software. Fuente [24]	34
Tabla 16. Características del extractor MTGR 560. Fuente: Autores.....	34
Tabla 17. Dimensionado de ciclones de alta eficiencia. Fuente: Autores	35
Tabla 18. Flujo másico máquinas de la carpintería PACES. Fuente: Autores.	37
Tabla 19. Pesos diarios de viruta. Fuente: Autores.....	38
Tabla 20. Valores de entrada y salida. Fuente: Autores.	41

Tabla 21. Velocidades en los ductos. Fuente: Autores.	43
Tabla 22. Perdidas de presión en los ductos. Fuente: Autores.....	43
Tabla 23. Comparación perdidas simulación/ analítica. Fuente: Autores	44
Tabla 24. Comparación de pérdidas totales. Fuente: Autores.....	45
Tabla 25. Dimensiones de los ductos. Fuente: Autores.....	48
Tabla 26. Lita de accesorios. Fuente: Autores.....	48
Tabla 27. Datos del extractor. Fuente: Autores.....	49
Tabla 28. Dimensiones del ciclón. Fuente: Autores.	50
Tabla 29. Costos de construcción propia. Fuente: Autores.	53
Tabla 30. Costos de construcción El Micrómetro. Fuente: Autores.	54
Tabla 31. Costos de construcción Electro Refrigeración. Fuente: Autores.	55
Tabla 32. Comparación de costos. Fuente Autores.....	56

DISEÑO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO Y VIRUTA DE MADERA PARA LA CARPINTERÍA DE LA FUNDACIÓN SALESIANA “PACES”

1. INTRODUCCIÓN.

Mediante la realización de este proyecto se analiza las alternativas tecnológicas para la extracción de polvos, segmentando el estudio de los principios de funcionamiento y las tecnologías utilizadas en la industria. De tal forma que se pueda escoger la tecnología más adecuada para el proceso llevado a cabo dentro de la carpintería del proyecto PACES. Una vez seleccionado el método óptimo para las características de nuestro sistema, se procede a diseñar, evaluando los parámetros de entrada necesarios para iniciar nuestro análisis, estableciendo el dimensionamiento de los componentes.

Dicho resultados son comprobados en el programa de Simulación ANSYS, en el cual se realiza una comparación de velocidades y caídas de presión en el tramo de mayor significancia para el dimensionamiento del ventilador.

Se realiza un análisis de factibilidad técnica, donde se examinan los resultados del dimensionamiento, análisis de la factibilidad económica en el cual se realizara una comparación económica de cotizaciones entre costos de construcción propia y de dos empresas distintas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La fundación Salesiana PACES, mantiene funcionando varios talleres en donde los estudiantes se forman en las distintas especialidades que ofrece esta entidad educativa y de apoyo social. Entre los distintos departamentos con los que cuenta se encuentra la sección de carpintería, donde se elaboran distintos productos hechos en madera seca de distintos tipos (dependiendo el requerimiento del cliente). Además de esto, esta área es utilizada para la enseñanza de los alumnos, realizando productos previamente elegidos.

El área de trabajo de la carpintería, representa un espacio cerrado de 14,5 metros (m) de largo por 9,60 metros de ancho , cuenta con 12 máquinas de desbaste en general, de modo que al trabajar producen viruta y partículas de polvo de madera, las cuales al no tener un sistema de evacuación adecuado, contaminan el ambiente por completo en 27.3 miligramos por metro cúbico (mg/m³), imposibilitando el proceso de acabado final de lacado que se desarrolla también en esta área, sobre todo dañando la salud de los empleados y estudiantes que se encuentran en dicha sección.

En el documento BOE – A – 6934. 2003 hace referencia respecto a los riesgos de los trabajadores en las distintas áreas de trabajo, específicamente el decreto 349 / 2003, trata

sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo, el límite de exposición profesional dentro de una carpintería que trabaja con maderas duras, es de 5,00 miligramos por metro cúbico (mg/m^3) [1].

Como se mencionó en el párrafo anterior, la medida de polvos en suspensión existente en el área de la carpintería es 27.3 miligramos por metro cúbico (mg/m^3), misma que como se puede notar excede lo establecido a la norma, afectando directamente al sistema respiratorio de los trabajadores y estudiantes que laboran en la instalación. Además que, disminuye la vida útil de las máquinas y equipos y limita por completo la calidad de los productos lacados.

2.1 Justificación.

La cantidad de polvo presente dentro de la carpintería en horas de trabajo que llega a valores de concentración en 27,3 miligramos por metro cúbico (mg/m^3), excediendo el límite permitido según la norma documento BOE – A – 6934. 2003, por lo que se hace necesario buscar un método óptimo para disminuir la cantidad de partículas de polvo suspendidas en el aire. Esto brindará una mejor calidad de ambiente de trabajo, una disminución de riesgos a la salud de los trabajadores y aumentar la vida útil de los equipos. Además, permitirá el buen desarrollo del proceso de lacado. Todo esto recaerá en una mejor calidad de los productos realizados.

3. OBJETIVOS.

3.1 Objetivo General.

Diseñar el sistema de extracción de polvo de madera adecuado para la carpintería de la Fundación Salesiana PACES con los parámetros y procedimientos óptimos para su funcionamiento.

3.2 Objetivos Específicos.

- Seleccionar y determinar un sistema óptimo de extracción de polvo de madera acorde a los parámetros dentro de la carpintería de la Fundación PACES.
- Dimensionar los equipos necesarios y determinar la disposición de cada componente del sistema de extracción de polvo y viruta de madera dentro de la carpintería de la Fundación PACES.
- Realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en base a los cálculos y el Software de simulación ANSYS.
- Determinar que la implementación del sistema de extracción de polvo y viruta de madera en la carpintería de la Fundación Salesiana PACES, sea factible técnica y económicamente.

4. MARCO TEÓRICO.

4.1 Situación actual de la carpintería del proyecto Paces.

4.1.1 Generalidades.

El Proyecto PACES (Programa Artesanal de Capacitación Especial Salesiano) es la denominación con la que se crea esta obra en el año 1988, obra pensada para el beneficio de los niños y niñas trabajadoras de la ciudad de Cuenca.

Este proyecto con el apoyo de la Universidad Politécnica Salesiana, ha implementado distintas propuestas educativas dirigidas a niños, niñas y adolescentes trabajadores y en situación de riesgo de la ciudad de Cuenca. Organiza su trabajo directamente en las calles desde dos puntos estratégicos, como son el centro de apoyo El Arenal y el centro 9 de Octubre, desde donde se ejecutan proyectos de apoyo nutricional, de recreación, de acompañamiento, psicopedagógico, escuelas de fútbol, terapia familiar, participación y ciudadanía, microcréditos y emprendimientos productivos principalmente.

El Proyecto PACES cuenta con un tercer centro ubicado en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana, en donde se maneja la coordinación general del proyecto y en cuyos espacios se desarrollan los programas de capacitación técnica y artesanal en áreas de mecánica industrial, mecánica automotriz, instalaciones civiles, carpintería de la construcción, belleza y panadería.

Justamente el trabajo desarrollado en este documento está dirigido al mejoramiento ambiental de los espacios con los que cuenta el programa de carpintería de la construcción a través del diseño de un sistema de extracción de polvos y viruta de las máquinas utilizadas para la fabricación de muebles.

La carpintería está ubicada en la Calle Vieja y Elia Liut, sector El Vecino, contiguo al edificio y laboratorio de la carrera de Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana (Ver Figura 1).

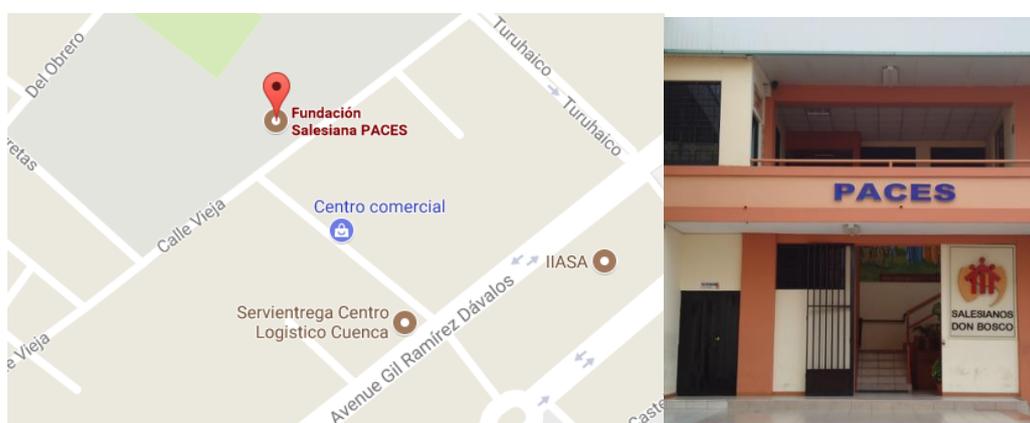


Figura 1. Ubicación del taller de carpintería del proyecto PACES. Fuente: Autores/Google maps.

4.1.2 Instalaciones de la carpintería del proyecto PACES.

La carpintería del proyecto PACES cuenta con tres personas que trabajan directamente en planta, quienes son los tutores y responsables de las máquinas y sobre todo de la formación de los estudiantes que ingresan en grupos de máximo 15 alumnos.

Los productos que desarrollan son muebles en general, los cuales se construyen bajo pedido.

La carpintería cuenta con un área de 81,315 m² en donde se han emplazado 12 máquinas, mismas que se encuentran debidamente codificadas (ver Tabla 1).

Tabla 1. Máquinas y equipos con los que cuenta la carpintería del proyecto PACES. Fuente: Autores.

No.	Denominación	Código	Fotografía	Utilización
1	Lijadora	L		Lijado de madera
2	Sierra de brazo	SB		Usada para cortes en piezas largas, cortes a medida, puede ser configurada como una sierra especial para cortar ranuras, juntas de rebaje y juntas a media madera.
3	Perforadora	P		Se usa para realizar agujeros. (taladrado)
4	Canteadora	CA		Esta máquina nos sirve para rebajar el canto de la madera y/o también para darle forma a una de las caras de la madera para después pasarla al Cepillo
5	Ingleteadora 1	II		Sirve para realizar cortes en ángulos precisos
6	Cepilladora	C		Realiza la operación mecánica de cepillado. Dicha operación consiste en la elaboración de superficies planas, acanalamientos y otras formas geométricas en las piezas
7	Trompo de lija	TL		Se usa en casos donde es necesario lijar maderas con forma o curvadas

8	Sierra circular	S		Se utiliza para cortes longitudinales o trasnsversales.
9	Sierra circular múltiple	SM		Se utiliza como herramienta de corte o de lijado dependiendo el disco elegido.
10	Ingleteadora 2	I2		Sirve para realizar cortes en ángulos precisos
11	Tupi	T		Se usa para fresar, agujerear un área determinada de piezas, realiza perfiles en el contornp de la pieza.
12	Sierra de cinta	SC		La sierra de cinta está especialmente hecha para dar forma curva a la madera.

En la Figura 2 se puede observar la distribución de los equipos dentro de las instalaciones del taller de carpintería de la Fundación Salesiana PACES.

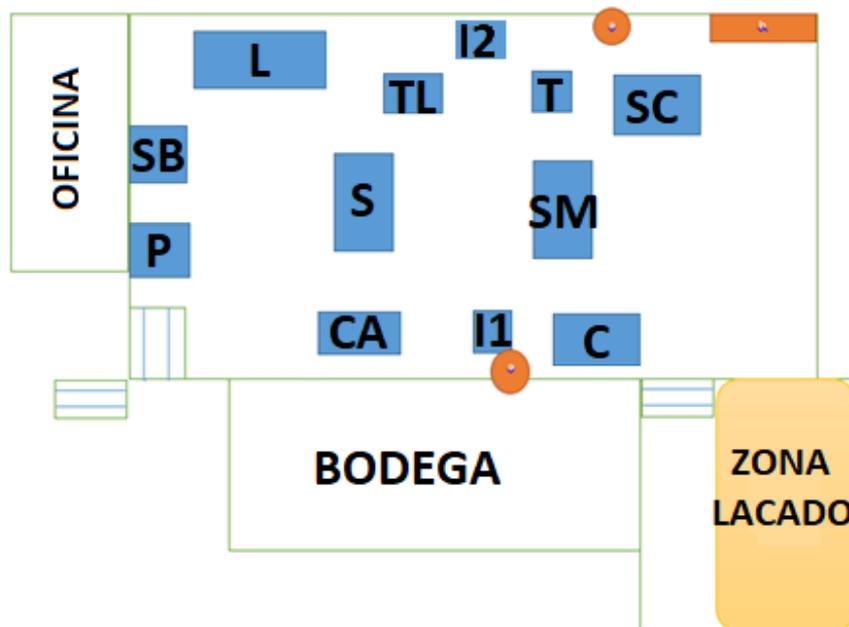


Figura 2. Distribución de equipos. Fuente: Autores.

4.1.3 Maderas usadas en la industria de la carpintería.

Una de las primeras clasificaciones establecidas para la madera establece dos grupos como:

- Maderas naturales
- Maderas industriales

Es importante considerar que ciertas maderas por sus características pueden compartir propiedades en común dentro de estos 2 grupos.

En el grupo de maderas naturales se encuentran tres subgrupos: blandas, duras y tropicales; en el grupo de maderas industriales se encuentran distintos tipos ya que son subproductos derivados de las maderas naturales mismas que mantienen propiedades diferentes. [2].

4.1.3.1 Maderas naturales o macizas.

Las maderas naturales son maderas de origen orgánico las cuales se dividen en:

- Maderas blandas
- Maderas duras
- Maderas tropicales

Maderas Blandas. Muy abundantes en Europa, se trata de maderas ligeras y normalmente claras, con origen en especies coníferas. Son fáciles de trabajar y gracias a su abundancia también son económicas. Su uso más destacado es el de la fabricación de mobiliario de consumo. En este grupo se destacan las siguientes:

- **Pino.** Generalmente es de color amarillento, es fácil de trabajar y se la utiliza para la fabricación de muchos elementos como: mobiliario, madera laminada, carpintería de armar, revestimientos, embalajes, etc.
- **Abeto.** Tiene una apariencia similar al pino, aunque es más ligera y tiene menos resistencia. Sus usos son también similares.
- **Cedro.** Es una madera ligera, de tono rojizo y con una buena resistencia, incluso a la humedad.
- **Álamo.** Se trata de una madera ligera, poco resistente y de tonalidad clara. Sus principales usos son los de triturado para la fabricación de maderas técnicas, chapas y carpintería de interior. [2].

Maderas Duras. Obtenidas especialmente de especies frondosas frecuentes en Europa y principalmente en Norte América, presentan una mayor dureza, como su nombre indica, y tienen una mayor variedad de usos. Estos tipos de madera además de ser utilizadas para la fabricación de mobiliario de calidad es también frecuente encontrarlas como elementos estructurales en la construcción. En cuanto a las tonalidades existe una gran disparidad y es imposible hablar de manera genérica, ya que los colores pueden variar de la blanquecina haya, al rojo del cerezo o el marrón oscuro del nogal. En este grupo se destacan las siguientes:

- **Roble.** Es una especie con muchas variedades donde también existen diferencias significativas entre algunas de ellas, especialmente en cuanto a tonalidades y resistencia. Generalmente son maderas duras, pesadas y con tonos claros. Su utilización no solo es muy variada, también es frecuente, hasta el punto de que se la suele usar como referencia para otras maderas. Mobiliario de calidad, parquets, tallas o estructuras son solo algunos de los usos que tiene la madera de roble.
- **Haya.** Tiene un color muy claro de forma natural (se la suele tratar por lo que en ocasiones la encontraremos en tonos amarillentos) y es dura. Es una clase de madera que no se considera resistente ya que es susceptible al ataque de hongos. Se utiliza entre otras cosas para tallas y torneados, mobiliario de interior, puertas y chapas decorativas.
- **Cerezo.** Es una madera moderadamente dura y resistente, con un ligero tono rojizo. Se utiliza principalmente para la fabricación de mobiliario y elementos decorativos.
- **Nogal.** Tiene una resistencia media y un color marrón más o menos intenso en función de la subespecie. Es muy valorada por los artesanos y se utiliza sobre todo para la fabricación de mobiliario interior de calidad.
- **Castaño.** Es un tipo de madera comparable al roble en cuanto a usos y prestaciones. Su uso ha estado muy extendido en norte de España. Tiene un color marrón claro. [2].

4.1.3.2 Maderas Tropicales.

Como su nombre indica tienen origen principalmente en las áreas tropicales, aunque algunas especies o subespecies podemos encontrarlas fuera de estas. Son muy apreciadas por gran su resistencia, no solo a los golpes, también a la humedad, hongos e insectos. En algunos casos se trata de maderas muy densas y pesadas lo que dificulta el trabajo con ellas. En términos generales son maderas rojizas y/o oscuras. En este grupo se destacan las siguientes:

- **Sapelli.** Es una madera resistente, de color rojizo y fácil de trabajar. Es una clase de madera muy demandada y con una gran variedad de usos donde destacan: el mobiliario tanto de interior como de exterior, torneado, carpintería de interior (puertas, ventanas, moldura), chapas decorativas, etc.
- **Ipe.** Es una de las maderas más densas, duras y resistentes que existen, de ahí que se la utilice mucho en exteriores, desde suelos a pérgolas, aunque también se puede encontrar en la fabricación de mobiliario de calidad.
- **Teca.** Es una madera tropical de excelente calidad, que presenta tonos marrones claros o amarillentos, y es también muy utilizada en exteriores. Destaca su utilización para la fabricación naval.
- **Iroko.** Esta especie de madera, cuyo origen está en África, es conocida como la “teca africana”. Tiene un color entre amarillo oscuro y marrón, y al igual que las otras

maderas que hemos comentado tiene muy buena resistencia. Se usa especialmente para trabajos de exterior. [2].

4.1.3.3 Maderas Industriales.

La evolución industrial entorno al mundo de la madera se ha conseguido partiendo de esta materia prima para la elaboración de productos que la igualan o superan en algunos ámbitos. El mayor aprovechamiento derivado de la utilización de lo que hasta ahora se consideraba residuos o incluso la reutilización o reciclaje de la madera permite obtener precios significativamente más bajos, el desarrollo de los adhesivos y la superposición de chapas o listones permite obtener piezas más largas y resistentes. En este grupo se destacan las siguientes (ver Figura 3):

- **Contrachapados.** Consiste en tableros fabricados a partir de la unión de varias chapas de madera natural con el sentido de la veta contrapuesto utilizándose diferentes adhesivos para ello. Haciéndolo de esta forma se consigue dar una mayor resistencia y estabilidad al resultado. Es muy frecuente utilizar para las chapas exteriores, las visibles, una madera de calidad superior o con las características o apariencia que estamos buscando, y luego otras de una madera diferente para las interiores.
- **Vigas Laminadas.** Se trata de un tipo de viga especialmente concebida para la construcción. Es un tipo de madera técnica muy estable y resistente que se obtiene de la unión con colas de múltiples secciones previamente tratadas y secadas.
- Este proceso de fabricación permite obtener piezas que superan los 30 metros de longitud, algo impensable con las vigas tradicionales.
- **Paneles contra laminados.** Siguiendo el mismo principio que con las vigas laminadas, es decir, uniendo diferentes piezas de madera previamente tratadas y secadas, se obtiene un producto mucho más resistente y estable que el que ofrece la madera natural. En el caso de los paneles contra laminados hablamos de piezas de gran envergadura, no solo a lo largo. En construcción con madera formarían las paredes techos y suelos de la casa.



Figura 3. Maderas Industriales. [2].

Madera a Partir de Partículas. Para la fabricación de este tipo de tableros se utilizan partículas de madera, en diferentes tamaños en función del tipo de madera o tablero que queramos obtener, que se prensan junto con adhesivos y resinas. Las prestaciones y características resultantes son muy diversas y también sus usos. Gracias a ello se trata del formato de madera industrial más consumido y demandado. (Ver Figura 4).

- **Aglomerados.** Se fabrican a partir partículas de varios milímetros y generalmente se comercializa tras habersele aplicado unas capas de melamina con las que se consigue prácticamente cualquier diseño. Su utilización principal es la fabricación de mobiliario interior. El gran inconveniente que presentan es su poca resistencia a la humedad y la deformación que esta produce.
- **MDF.** La traducción sería “medium density fiberboard” (tablero de partículas de madera. Generalmente se utiliza el término MDF para todos los tableros de fibras, incluidos los de alta densidad como los de baja. Se trata simplemente de una generalización. Su utilización principal es también la fabricación de mobiliario aunque también podemos encontrarlo como revestimiento, soporte de suelos laminados, etc.
- **OSB o tableros de fibra orientada.** Se trata de un punto medio entre los tableros de partículas y los contrachapados. Se forman a partir de la unión de diferentes capas en sentidos contrapuestos de virutas de varios centímetros. El resultado es tablero muy resistente, similar a un contrachapado, con un precio muy inferior. Aunque actualmente se utiliza sobre todo como revestimiento o elemento estructural, también se puede utilizar para la fabricación de mobiliario, cajas, etc. [2].



Figura 4. Maderas a partir de partículas. [2].

Actualmente las maderas más usadas en el taller de la carpintería del Programa PACES son:

- Madera natural: Laurel, Canelo.
- Madera Industrial: MDF, Melamina.

4.1.4 Generación de viruta y polvo de madera en la Carpintería del programa PACES.

4.1.4.1 Viruta y residuos que se producen en las máquinas.

Para el cálculo de la producción de viruta y polvo de madera dentro del taller se realizó la medición de los pesos de los residuos de polvo y viruta de madera que cada una de las maquinas produce. En la Tabla 2 se puede observar los resultados de esta medición.

Tabla 2. Pesos Reales. Fuente: Autores.

Numero de medición	Valor en (gr)
1	12565,67
2	14300,56
3	15130,18
4	15456,23
5	16670,87
Total semanal	74123,51
Total mensual	370617,55

En la Tabla 3 se observan los valores de producción de viruta y polvo asumiendo que los equipos funcionan 8 horas diarias, estos valores se usaran para el diseño.

Tabla 3. Pesos para los cálculos. Fuente: Autores

Equipo	Peso en 8 horas (g)
Ingletadora	12068,37
Cierra de brazo	4576,5
Canteadora	90796,65
Cepilladora	175044,86
Tupi	353,7
Lijadora de banda	1577,57
Cierra circular	15111,36
Cierra de cinta	9792
Perforadora	6135,11111
Lijadora circular	3585,6
Total peso	1046134,08

4.1.4.2 Medición de partículas suspendidas en el aire.

Usando el medidor de partículas DUSTTRAK II 8532, se tomó la medición del particulado suspendido en el ambiente del taller de carpintería del programa PACES durante un periodo de 4 meses, con un muestreo semanal.

El equipo DUSTTRAK II realiza un muestreo durante un tiempo establecido de 10 minutos, con una toma de datos cada 10 segundos, obteniendo 600 datos por monitoreo.

En la fecha del 01 de agosto del 2017 se presentó los picos más altos de concentración de polvo, debido al incremento de la producción, estos resultados se presentan en la Tabla 4 y la Figura 5.

Tabla 4. Concentración de particulado. Fuente: Autores

Tipo de concentración	Cantidad (mg/m ³)
Máxima	27,8
Mínima	0,128
Promedio	8,59

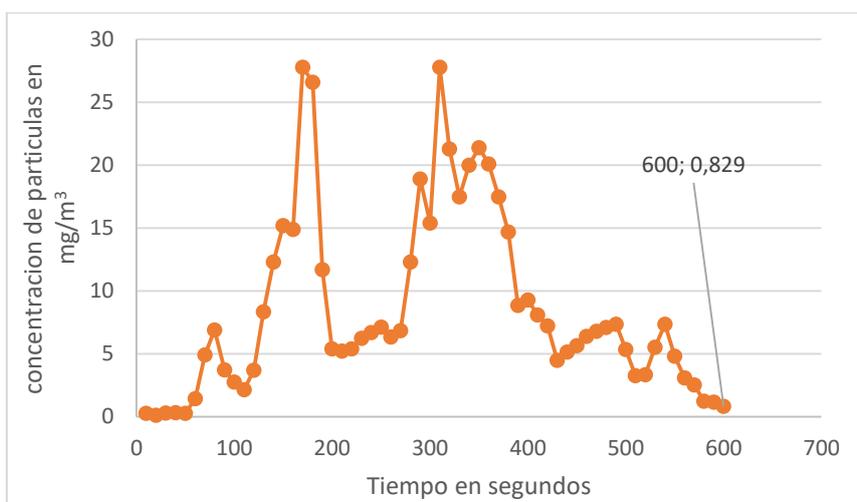


Figura 5. Concentración de particulado. Fuente: Autores.

4.2 Tecnologías utilizadas en la extracción de polvo y viruta de madera.

Los sistemas de extracción en la actualidad, son un requerimiento muy importante dentro de la industria, en pequeñas y medianas empresas madereras. Esto debido a que sin el sistema, el aserrín, virutas y polvo no permiten un flujo normal del proceso de trabajo y un buen funcionamiento de las máquinas. Especialmente el polvo de madera que se produce causa reacciones alérgicas y enfermedades a la piel y a las vías respiratorias. [3].

Para la disminución de estos problemas ocasionados, se diseñan sistemas de extracción de polvo y viruta de madera bajo parámetros establecidos para cada caso. “Este proceso consiste en producir corrientes de aire que permitan eliminar contaminantes de la atmosfera”. [4].

4.2.1 Tipos de sistemas de extracción.

4.2.1.1 Sistemas de extracción portátiles.

La aspiración se realiza con un equipo móvil que se transporta al sitio donde se encuentra la máquina que emite el foco contaminante. Usados generalmente en talleres pequeños [5], como se observa en la Figura 6.

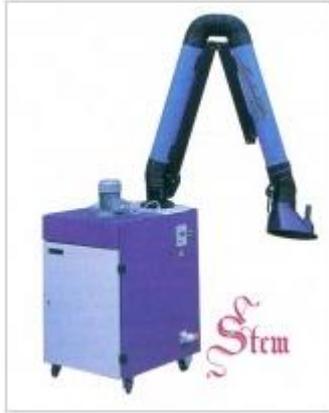


Figura 6. Sistema de extracción portátil. Fuente: [6]

4.2.1.2 Sistemas de extracción por grupos.

El sistema aspira al mismo tiempo los desechos de varias máquinas, puede ser esta local por su ubicación o según su interdependencia en su funcionamiento [7]. Con la ayuda de un regulador de potencia se puede optimizar la energía y arrastrar restos desiguales de madera. Estos sistemas son eficientes para la recolección de residuos de madera en talleres medianos. [8]. (Ver Figura 7).



Figura 7. Sistema de extracción por grupos. Fuente: [9]

4.2.1.3 Sistemas de extracción General.

Estos sistemas de extracción general pueden emplearse para el control del ambiente térmico y/o para la eliminación de los contaminantes generados en el aire [10]. Se pueden identificar por su tipo de ventilación, así como se presenta a continuación.

4.2.1.3.1 Ventilación por dilución.

Consiste en la dilución del aire contaminado con aire sin contaminar, con el objetivo de controlar riesgos a la salud, incendios y explosión, olores y contaminantes molestos. [10]. (Ver Figura 8).

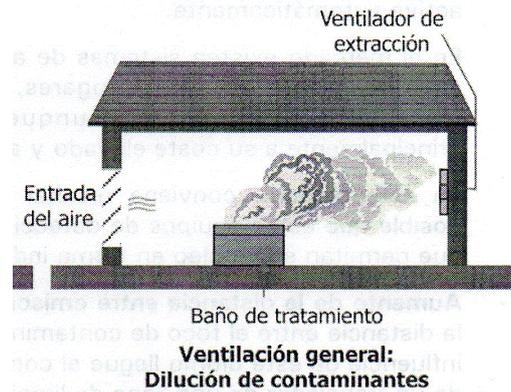


Figura 8. Sistema de extracción por grupos. Fuente: [11]

4.2.1.3.2 Ventilación de control térmico.

Consiste en el control de las condiciones ambientales asociadas con los ambientes industriales muy calurosos con la finalidad de prevenir daños o molestias. [10].

4.2.1.4 Sistemas de extracción localizada.

La extracción localizada capta el contaminante en su lugar de origen antes de que pueda pasar al ambiente de trabajo. La mayor ventaja de este método respecto a la ventilación general es su menor requerimiento de aire y que no contribuye a esparcir el contaminante (Ver Figura 9). Los dos requisitos básicos que debe reunir son: que el foco se encuentre lo más encerrado posible y la creación de una velocidad adecuada del aire próximo al foco de generación, para asegurar que se establezca una corriente hacia la campana [12].

Los sistemas de extracción localizada se pueden clasificar en [8]:

- Sistema de bajo vacío. Especial para recoger polvos livianos como aserrín (baja velocidad 0.5 – 5 m/s)
- Sistemas de alto vacío. Para recoger polvos o partículas más pesadas como virutas velocidad alta (25-90 m/s).

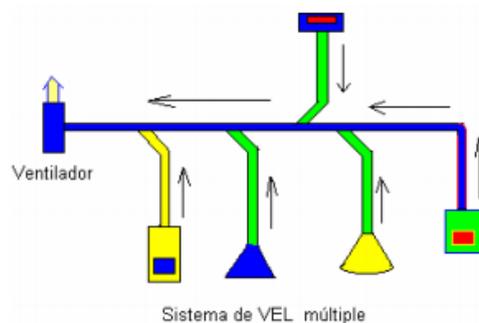


Figura 9. Sistema de extracción localizada. Fuente: [13]

Los equipos más comunes de extracción localizada están conformados por tres componentes principales:

- La campana, sobre este utensilio recae la función de captar los contaminantes de una manera más eficiente.
- El conducto, por aquí pasara el fluido extraído junto con las partículas del contaminante. - El depurador, responsable de separar las partículas del aire.
- El ventilador, también conocido como extractor, provoca la circulación/aspiración. Es el elemento que proporciona la energía al sistema.

La eficacia en los sistemas de extracción localizada depende de su capacidad para generar corrientes de aire de suficiente magnitud en los puntos en los que se produce el contaminante. Esto se obtiene modificando el diseño: variando la distancia, distinta geometría o adaptación de la campana extractora al foco generador, comprobando y modificando el caudal de extracción y la limpieza o estado de los conductos y filtros. Por lo que como toda instalación se le tendrá que realizar un mantenimiento periódico [10].

4.2.2 Componentes de un sistema de extracción localizada.

4.2.2.1 Campana de extracción de aire.

La campana es el punto de entrada al sistema de extracción, cuya función es la de crear un flujo de aire que capture eficazmente los contaminantes y lo transporte hacia la campana. (Ver Figura 10). [3][14].

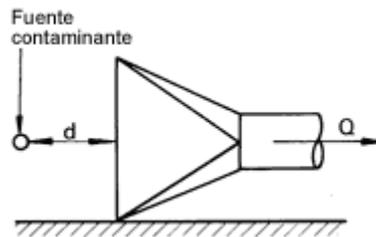


Figura 10. Campana. Fuente [15].

El término campana se usa en un amplio sentido, incluyendo cualquier abertura de succión independientemente de la forma o el tamaño, que permite que el aire ingrese al sistema de conductos [16].

La campana de extracción es el elemento esencial que debe resolver dos cuestiones [3]:

- Forma, dimensiones y situación de la campana.
- Cálculo de caudal necesario y determinación de las velocidades de aire para la captación y arreste.

Tipos de campanas:

Se puede clasificar en dos grupos: cabinas y campanas exteriores:

- Cabinas: son elementos que encierran total o parcialmente el foco de contaminación. Una corriente de aire que penetra en la cabina a través de la abertura retendrá el

contaminante en el interior de la misma, impidiendo que llegue al ambiente de trabajo. (Ver Figura 11). [12].

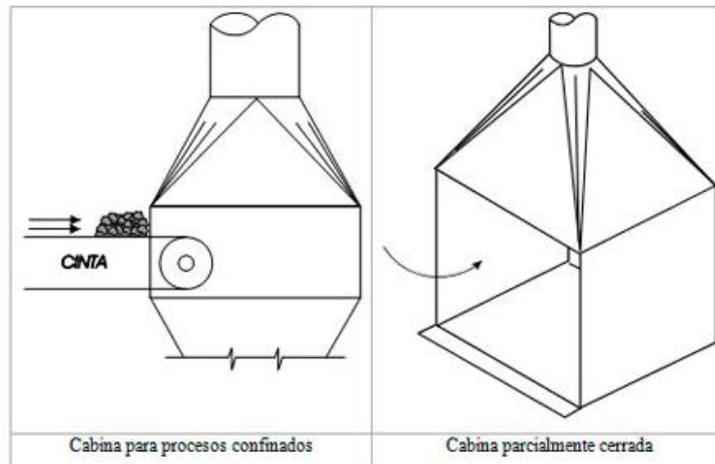


Figura 11. Cabina total y parcial. Fuente: [17]

- Campanas exteriores: son las situadas adyacentes al foco de contaminante pero sin encerrarlo (Ver Figura 12).

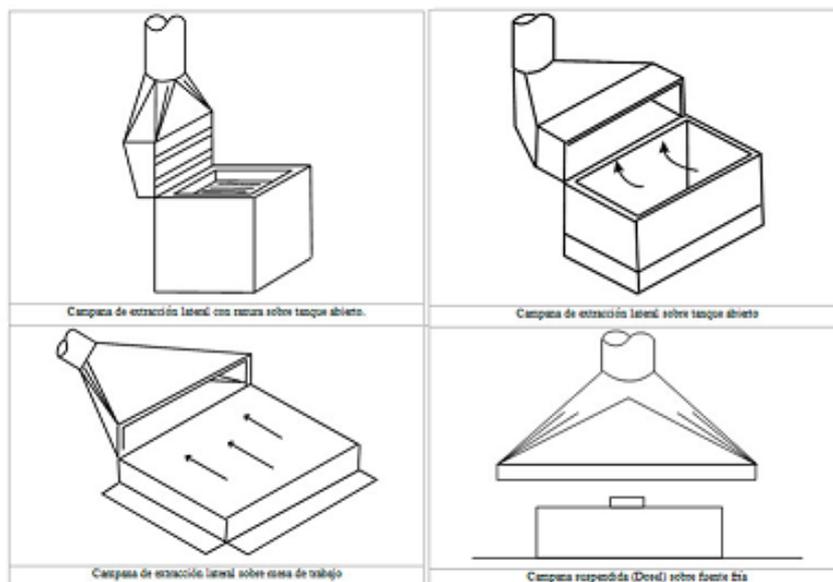


Figura 12. Campana exterior. Fuente: [17].

Cuando un contaminante es un gas, vapor o polvo fino y no es emitido con una velocidad significativa, la orientación de la campana no es crítica. Si el contaminante incluye partículas grandes que son emitidas con una velocidad apreciable, la campana debe colocarse en dirección de dicha emisión [10].

4.2.2.2 Depuración de aire.

La depuración de aire consiste en un sistema de tratamiento y purificación del flujo en el cual retienen o separan los contaminantes del flujo sobrante [14].

Los depuradores de aire son equipos que eliminan los contaminantes de una corriente de aire o gas. Existe una amplia gama de diseños, capaces de cumplir los más variados requisitos de depuración de aire.

El grado de eficiencia necesario, la cantidad y características de los contaminantes que deben ser eliminados de la corriente gaseosa y las condiciones de esta influyen en la selección del equipo para una aplicación concreta [10].

4.2.2.3 Captadores de polvo.

Estos son diseñados para tratar aire con concentraciones de polvo desde 200 mg/m³ hasta 4000 mg/m³ [10].

Estos dispositivos conducen las emisiones y las controla desde el punto de emisión hasta los sistemas de depuración y dispersión [18].

Los cuatro tipos principales de captadores de polvo son: Precipitadores electrostáticos, filtros de tela, depuradores húmedos y separadores centrífugos por vía seca [10].

4.2.2.3.1 Precipitadores electrostáticos.

El mecanismo de captación se basa en que las partículas son cargadas primero eléctricamente y luego se mantiene un campo eléctrico de alto voltaje entre dos electrodos (de descarga y colector) cuyas polaridades son de signo opuesto. Los requerimientos energéticos son significativamente menores que los demás tipos de captador de polvo (Ver Figura 13). [12].

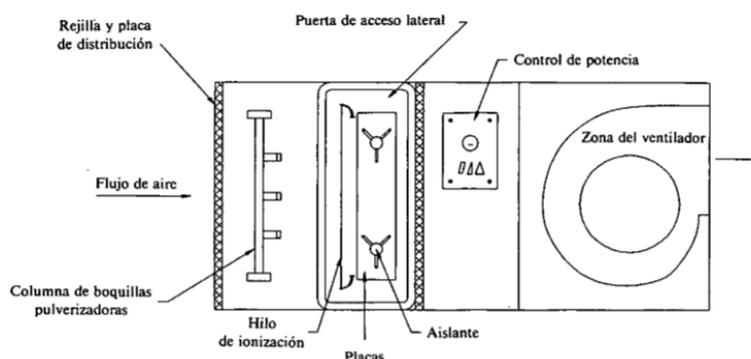


Figura 13. Precipitadores electrostáticos. Fuente: [10]

El gas a depurar atraviesa el campo eléctrico que se mantiene entre los electrodos, a un potencial crítico las moléculas de gas se descomponen en iones positivos y negativos y ocurre 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.

El proceso completo consiste en:

1. Ionización del gas
2. Carga de las partículas de polvo.

3. Transporte de las partículas hacia la superficie colectora.
4. Neutralización, o pérdida de la carga eléctrica, por las partículas de polvo.
5. Eliminación del polvo de la superficie colectora [10].

4.2.2.3.2 Filtros de tela.

Eliminan las partículas mediante obstrucción, impacto, interceptación, difusión y atracción electrostática. La tela es de material fibroso (natural o artificial), donde su construcción es de masa porosa a través de la cual circula el aire a filtrar y las partículas de polvo quedan retenidas en la cara sucia de la tela y el gas limpio atraviesa la masa filtrante. Los valores normales de permeabilidad para las telas filtrantes están entre 7 y 12 m³/(m² x min) [10].

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.

Un filtro de tela nunca alcanza la eficacia de retención de 100%, no obstante los filtros bien diseñados con un dimensionado correcto y bien mantenidos pueden alcanzar eficacias superiores al 99%.

Los filtros se dimensionan para que sean capaces de proporcionar una superficie filtrante que posibilite la operación sin originar una pérdida de carga excesiva. El tamaño de la superficie filtrante depende de muchos factores, entre ellos:

- Características del polvo.
- Porosidad de la torta filtrante
- Concentración de polvo en la corriente gaseosa.
- Tipo de acabado superficial de la tela, si lo hay.
- Mecanismo de limpieza.
- Modelo de circulación del aire en el interior del equipo.
- Temperatura y humedad del aire.

Debido a la cantidad de variables y su margen de variación, el dimensionado de un filtro de tela se basa en la experiencia, el dimensionado se expresa mediante la relación entre el caudal a filtrar y la superficie filtrante (Ver Tabla 5). [10].

Tabla 5. Resumen de los filtros de tela y sus características. Fuente: [10]

Parámetro	Operación Discontinua (Concentraciones bajas y medias)	Operación Discontinua (Concentraciones altas)		Operación Continua (Cualquier concentración)	
Requerimientos de limpieza de la tela	Intermitente	Continuo			
Tipo de limpieza	Vibrador	Vibrador	Aire inverso (baja presión)	Inverso pulsante (alta presión) aire comprimido o extractor	
Configuración del depurador	Un compartimiento	Múltiples compartimientos con válvulas en la entrada o la salida de cada uno		Un compartimiento	
Configuración del medio filtrante	Mangas o bolsas	Mangas o bolsas	Mangas	Mangas o bolsas	Plegado en cartucho
Tipo de tela	Tejido	Tejido		Fieltro	Fieltro (lamina de papel)
Caudal de aire	Muy variable	Ligeramente variable		Prácticamente constante	
Rango del caudal específico de filtrado (velocidad de filtración, m/s)	0.005 a 0.030	0.005 a 0.015	0.005 a 0.010	0.025 a 0.060	< 0.005 a 0.012

4.2.2.3.3 Depuradores húmedos.

Depuradores húmedos o lavadores de gases, están disponibles en el mercado con pérdidas de carga que van desde 35 hasta 2500 mm H₂O. Estos depuradores pueden tratar gases a altas temperaturas o saturados húmedos. Cuando un material pulverulento presenta riesgos de incendio o explosión en estado seco, el uso de depuradores húmedos evita o al menos disminuye este riesgo. Sin embargo, el uso de agua puede favorecer los fenómenos de corrosión en el interior del equipo [10].

Los depuradores húmedos tienen una característica exclusiva, su capacidad de humidificar el aire. (Humidificar es añadir vapor de agua a una corriente de aire mediante evaporación).

- Cámaras o torres de lavado. Las torres de lavado consisten en una cámara cilíndrica en cuyo interior se introduce agua a través de boquillas pulverizadoras.
- Torres de relleno. Son especialmente lechos de contacto en los que las corrientes de agua y gas circulan simultáneamente en contracorriente o en flujos paralelos.
- Depuradores húmedos de rendija. El aire atraviesa el depurador se pone en contacto con una lámina de agua en un estrangulamiento o rendija.
- Venturi. Es en sí mismo un acondicionador de aire ya que provoca un contacto muy íntimo entre las partículas contenidas en el gas y el agua de lavado.

4.2.2.3.4 Separadores centrífugos.

Estos separadores son de vía seca y eliminan las partículas contenidas en una corriente de aire mediante la acción de fuerzas centrífugas, gravitacionales o de inercia. La eficacia de captación depende de:

1. Tamaño, forma y peso de la particular.
2. El diseño y el tamaño del separador.
3. La velocidad de entrada.
4. Concentración de polvo.

4.2.2.3.5 Cámaras de sedimentación.

Consiste en un recinto en el que se hace de crecer rápidamente la velocidad de la corriente gaseosa de forma que las partículas sedimentan por gravedad.

4.2.2.4 Ciclones.

La forma más común para la separación del aire y virutas es el ciclón. En ellos entra el flujo de aire de forma tangencial al ciclón lo que hace que la viruta por fuerza centrífuga es lanzada contra la pared del ciclón y baja de forma espiral por la pérdida de velocidad de flujo (Ver Figura 14). El aire separado de las virutas escapa hacia arriba, con ello escapa de 120 a 200 mg de polvo fino por hora. En el caso que se requiera un mejor resultado se debe pasar el aire de escape adicionalmente por un filtro textil. La pérdida de presión de ciclones es de 50 a 130 daN/m² [1].

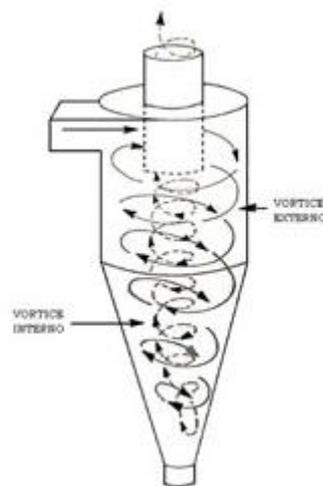


Figura 14. Ciclones. Fuente: [19]

Cuando el gas penetra en ciclón, su velocidad sufre una redistribución de tal modo que la componen te tangencial de la velocidad aumenta al reducirse el radio. La velocidad espiral

dentro de un ciclón puede alcanzar un valor varias veces superior a la velocidad promedio del gas de entrada [16].

Clasificación: Los separadores ciclónicos se clasifican en cuatro tipos:(Ver Figura 15)

1. Entrada tangencial, descarga axial (a)
2. Entrada tangencial, descarga periférica (b)
3. Entrada axial, descarga axial (c)
4. Entrada axial, descarga periférica (d)

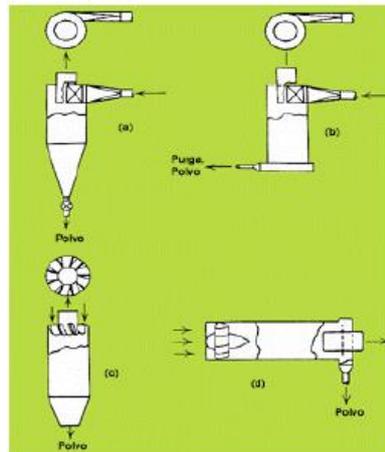


Figura 15. Tipos de ciclones. Fuente: [20]

Los ciclones más usados dentro de la industria son el a y c.

4.2.2.5 Silos.

Los silos de virutas deben ser construidos de material no combustible, si no tienen una distancia de mínimo 9 metros (m). De los galpones. Deben estar equipados con compuertas de descarga de presión que se abren o vuelen en caso de explosión. Se acepta una prorrata máxima de 20% de polvo fino del material aspirado.

Para evitar un exceso de acumulación de polvo fino en el aire los silos se llenan hasta solamente 2/3 de su altura total. Las paredes interiores deben ser lisas y sin partes que sobresalgan, es ventajoso cuando la sección inferior del silo es ligeramente más grande que la superior para evitar puentes de viruta [1].

4.2.2.6 Ventiladores.

Un ventilador es simplemente un equipo que crea la diferencia en la presión para mover el aire a través del sistema. Mientras más grande es la diferencia de la presión creada por el ventilador, más grande será el volumen de aire movido a través del sistema [16].

Existen dos tipos principales de ventiladores, los axiales y los centrífugos

4.2.2.6.1 Ventiladores Axiales.

Los ventiladores axiales están compuestos básicamente de un rotor y dos o más paletas solidarios a un eje propulsor movido por un motor que impulsa aire en una trayectoria recta con salida de flujo helicoidal (Ver Figura 16).



Figura 16. Ventilador Axial. Fuente: [21]

Existen 3 tipos de ventiladores axiales:

Ventilador helicoidal: en estos el aire se desplaza en el sentido del eje de rotación de la hélice, su composición simple lo convierte en un aparato económico en comparación con su caudal, se lo aplica donde la resistencia al flujo de aire es baja (en instalación con pocos metros de ducteria)

Ventilador tubular: dispone una hélice de alabes estrechos de sección constante, estos ventiladores pueden mover aire venciendo resistencias moderadas menos de 50 mm H₂O adecuados para ser conectados a ductos y para operación en serie.

Ventiladores turbo axiales: tiene una hélice de alabes con perfil aerodinámico, en comparación con los anteriores estos tienen un rendimiento superior y pueden desarrollar presiones superiores hasta 600 mm H₂O

4.2.2.6.2 Ventiladores Centrífugos.

Tiene una turbina por un número de aletas montadas alrededor de la manzana. El flujo desde el lado de la turbina gira 90° acelera y pasa hacia las aletas de ventilador (Ver Figura 17). Los ventiladores centrífugos pueden alcanzar altas presiones en el flujo de gas por lo tanto son los más eficaces industrialmente.



Figura 17. Ventilador centrifugo. Fuente: [21]

4.2.3 Análisis de resultados.

El particulado dentro de la carpintería se origina en los procesos de corte, lijado y conformado, las partículas se presentan en forma de viruta y de polvo de madera, el polvo de madera es el que en mayor parte queda suspendido en el aire del taller, mientras que la viruta genera desperdicio que actualmente se acumula en el suelo y dentro de las propias máquinas.

El material particulado puede tener efectos nocivos en la salud y confort de los operarios en su sistema respiratorio y enfermedades cardiovasculares, así mismo afectando la visibilidad. Además esta contaminación produce un deterioro en las maquinas por la acumulación de particulado y viruta en ellas.

Como consecuencia directa del particulado de madera en el ambiente, la densidad que se encuentra en el mismo ambiente supera los estándares que se indican en el documento BOE – A – 6934.

Bajo las condiciones actuales presentes en la carpintería de PACES, y con la revisión bibliográfica descrita en esta sección se determina que el sistema más adecuado para contrarrestar la situación actual es diseñar un sistema de extracción localizado.

El cual contara con válvulas de cierre a la entrada de cada una de las máquinas, esto servirá para la reducción de consumo energético y generación de potencia cero en máquinas que no están funcionando, dado que el uso de las máquinas es aleatorio dependiendo del trabajo a realizarse.

Además se debe recalcar que, como la carpintería PACES trabaja con maderas secas, los efectos de la lignina y celulosa son minimizados dados que son maderas tratadas para la industria de la carpintería. Por lo cual no presentaran aglutinamiento dentro de la ducteria del sistema de extracción.

4.3 Diseño del sistema de extracción localizada para la carpintería del proyecto PACES.

4.3.1 Restricciones de diseño.

En el esquema de la Figura 18 se encuentra la ubicación de la carpintería dentro de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

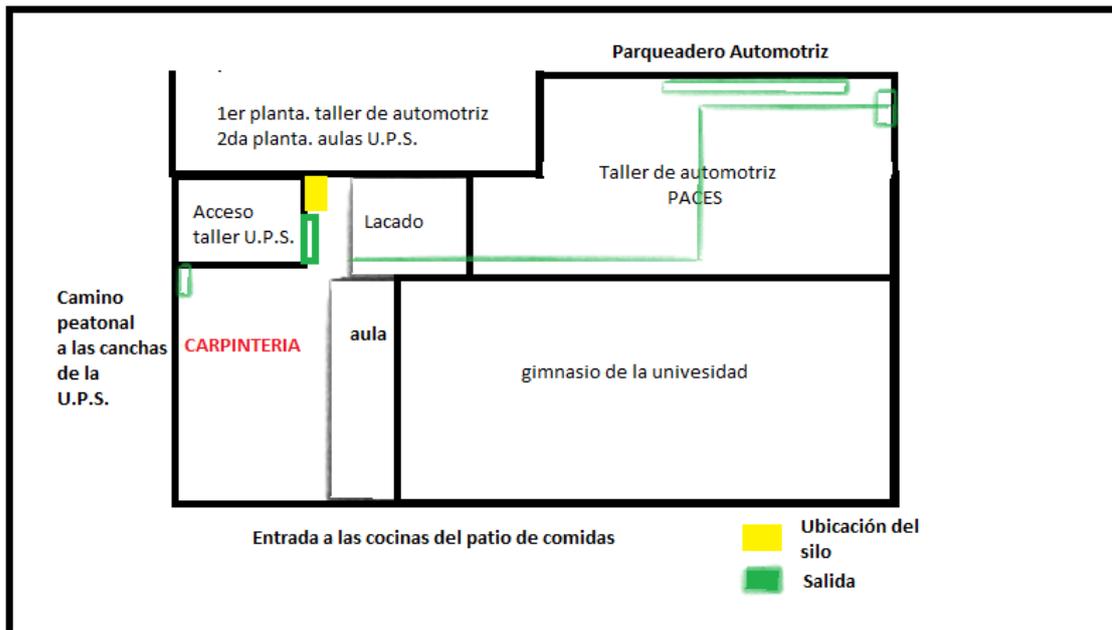


Figura 18. Ubicación de la carpintería respecto a sus alrededores. Fuente: Autores

1. La ubicación del taller respecto a la posición dentro de la universidad juega un papel importante, ya que al no tener una entrada directa de vehículos se debe tomar en consideración el plan de limpieza y vaciado del silo del sistema de la forma apropiada para sus trabajadores.

En vista de esto, se debe analizar una posición del ciclón y silo que no dificulte la limpieza y el traslado de material a la salida de la instalación. Así mismo, el silo no podrá estar muy alejado del taller ya que esto incurrirá en pérdidas de presión, aumento de energía para el transporte y con ello costes mayores del sistema.

La ubicación seleccionada se muestra en la Figura 18, dado que es un lugar donde no interrumpe las labores de los trabajadores, se encuentra cerca de las máquinas que producen polvo y está en la vía de salida al parqueadero del taller automotriz de la institución.

2. El vaciado de la viruta y polvo del depósito debe ser sencillo y rápido para los trabajadores.

Pará esto se ha pensado en la limpieza del silo mediante sacos de 50 kg de capacidad que facilite el traslado hacia la parte exterior del taller. Analizar la posición de los ductos tanto principal como vías secundarias, será vital para el funcionamiento óptimo de la planta, analizando la mejor distribución de la ductería aérea o a nivel de suelo.

3. La distribución del ducto principal y secundarios influirá de manera importante en los costes del sistema, por la caída de presión que genera y por la cantidad de tubería utilizada.

Tabla 6. Diámetros de las tomas de aspiración para el sistema. Fuente: Autores.

Maquina	Diámetro de boca (mm)
Lijadora (L)	152,40
Sierra De Brazo (Sb)	50,80
Perforadora (P)	63,50
Canteadora (Ca)	152,40
Ingleteadora (I1)	38,10
Barredora 1 (B1)	38,10
Cepilladora (C)	101,60
Barredora2 (B2)	38,10
Trompo de Lija Tupi (TI)	25,40
Sierra Circular (S)	101,40
Sierra Circular Múltiple (Sm)	63,50
Ingleteadora (I2)	38,10
Tupi (T)	127,00
Sierra Cinta (Sc)	63,50
Barredora 3 (B3)	38,10

Velocidad en el conducto V_c : Es la velocidad del aire dentro del conducto necesaria para evitar que las partículas de madera queden depositadas en el mismo [3], va a depender del fluido que estamos queriendo extraer, teniendo tablas de distintos gases y materiales a extraer con sus respectivas velocidades estimadas (Ver Tabla 7).

Tabla 7. Velocidades en los conductos para diversos contaminantes. [22] [12].

Partículas a extraer	V_c (m/s)
Vapores y gases	9 a 10
soldadura eléctrica	10 a 13
hilachas de algodón, harina gramíneas y de madera	13 a 15
Serrín de madera	15
Polvo metálico de rectificado	16
finos de goma, hilachas de yute, virutas ligeras de madera y cuero	15 a 20
Polvo de amolado, de yute, lana, granos de café, harina de sílice, viruta fina metálica	18 a 20
Polvo pesado de aserrado, torneado metálico, vibrado y volcado de fundición, proyección de arena, cubito de madera, polvo de plomo con partículas de cemento	25 y mas

4.3.3 Cálculos analíticos.

4.3.3.1 Caudal.

El caudal de aire necesario para el sistema también está dado por:

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Donde:

V = Velocidad de transporte. Basados en la Tabla 7, el dato de velocidad aplicado a nuestro sistema está entre un valor de 15 a 20 m/s, escogiendo para la aplicación la velocidad de 18 m/s.

A = área de la sección transversal de la tubería m^2

Los diámetros para sacar el área de la sección transversal se tomaran de la tabla 1 y aplicando la ecuación (3) [23].

$$A_{ducto} = \frac{\pi x d^2}{4} \quad (2)$$

Donde:

d = Diámetro interior de tubería.

Sustituyendo la ecuación 2 en la ecuación 1, se obtienen los caudales de los diferentes ductos.

La ecuación 3 se expresa:

$$Q = \frac{\pi x d^2}{4} x V \quad (3)$$

Al aplicar la ecuación 3, se obtienen los caudales de los diferentes ductos

Para sacar los caudales correspondientes a los conductos de unión de ramales, se utiliza la ecuación 4.

$$Q_r = \sum Q_n \quad (4)$$

TRAMO 1.

Ducto L – 1. Aplicando la ecuación 3:

$$Q = \frac{\pi x (0,1524)^2}{4} x 18$$

$$Q = 0,3283 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ducto SB – 1.

$$Q = \frac{\pi x (0,1524)^2}{4} x 18$$

$$Q = 0,03648 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ducto 1 – 2. Aplicando la ecuación 4.

$$Q_r = Q_1 + Q_2$$

$$Q_r = 0,3283 + 0,03648$$

$$Q = 0,385351 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ducto P – 2. Aplicando la ecuación 3

$$Q = \frac{\pi x (0,0635)^2}{4} x 18$$

$$Q = 0,05701 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ducto 2 – 3. Aplicando la ecuación 4.

$$Q_r = 0,385351 + 0,05701$$

$$Q = 0,446917 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para los tramos del dos al seis se realiza el mismo proceso dado en el tramo 1. Para ello, se utiliza las ecuaciones 3 y 4. Estos resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8.Cálculo del caudal de los ductos del sistema. Fuente: Autores.

Tramo	Ducto	Diámetro (m)	Diámetro Comercial (mm)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
Tramo 1	L-1	152,40	0,1524	18	0,3283
	SB-1	50,80	0,0508	18	0,0364
	1.-2	160,64	0,1651	18	0,3853
	P-2	63,50	0,0635	18	0,0570
	2.-3	172,73	0,1778	18	0,4469
Tramo 2	CA-3	152,40	0,1524	18	0,3283
	3.-5	230,35	0,2286	18	0,7387
Tramo 3	I1-4	38,10	0,0381	18	0,0205
	B1-4	38,10	0,0381	18	0,0205
	4.-5	53,88	0,0508	18	0,0364
	5.-6	236,57	0,2286	18	0,7387
Tramo 4	C-6	101,60	0,1016	18	0,1459
	6.-10	257,46	0,254	18	0,9120
Tramo 5	B2-7	38,10	0,0381	18	0,0205
	TL-7	25,40	0,0254	18	0,0091
	7.-8	45,79	0,0508	18	0,0364
	S-8	101,40	0,1014	18	0,1453
	8.-9	111,25	0,1143	18	0,1846
	SM-9	63,50	0,0635	18	0,0570
	9.-10	128,10	0,1275	18	0,2280
	10.-14	287,57	0,2794	18	1,1036
Tramo 6	I2-11	38,10	0,0381	18	0,0205
	T-11	127,00	0,127	18	0,2280
	11.-12	132,59	0,127	18	0,2280
	SC-12	63,50	0,0635	18	0,0570
	12.-13	147,01	0,1524	18	0,3283
	B3-13	38,10	0,0381	18	0,0205
	13.-14	151,86	0,1524	18	0,3283
	14.-15	325,21	0,3302	18	1,5414

4.3.3.2 Presión dinámica.

Para lograr que el aire tenga un movimiento debe existir una diferencia de presión entre dos puntos, el cual es generado por un ventilador (Ver Figura 20). Esta presión, se puede medir si

ponemos un cierre en medio del flujo denominada **presión dinámica** [23], y se calcula de la siguiente manera:

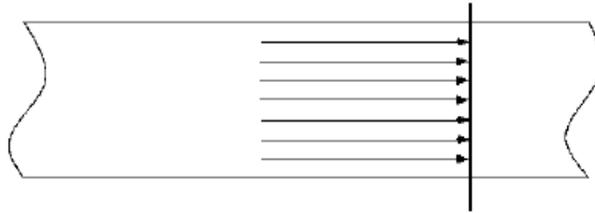


Figura 20. Presión dinámica. Fuente: Autores

$$P_d = \frac{V^2 \times \rho_{aire}}{2 \times g} \quad (5)$$

Donde:

P_d = Presión dinámica (daN/m²)

V = Velocidad de flujo de aire (m/s)

ρ_{aire} = Peso específico del aire (kg/m³)

g = Fuerza de gravedad (9.81 m/s²)

Unidades de presión. Pascal (Pa) = 10 daN/m²; 1 bar = 10 daN/cm²

4.3.3.2.1 Determinación del peso específico.

El peso específico viene determinado por la presión atmosférica, su temperatura y su contenido de humedad relativa.

Para una altura de 0 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura de 20°C y una humedad relativa de 60% el peso específico correspondiente es de 1.1992 kg/m³

Conforme se varía la altura respecto al nivel del mar [22], se calcula según la fórmula:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (6)$$

Donde:

P_1 = presión de aire a 0 m.s.n.m. = (1013 mbar)

P_2 = presión de aire a “altura (altura del lugar de instalación)” m.s.n.m

ρ_1 = peso específico de aire a 0 m.s.n.m. = (1,199 kg/m³)

ρ_2 = peso específico de aire a “altura” metros m.s.n.m.

La presión atmosférica se mide en mbar (milibar) y depende de la altura sobre el nivel de mar (Ver Tabla 9):

Tabla 9. Relación Altura/Presión atmosférica m.s.n.m. Fuente: Autores

Altura m.s.n.m	P atm (mbar)
0	1013
200	989
400	966
600	943
800	921
1000	899
1500	850
2000	795
2500	750
3000	701

La ciudad de Cuenca está ubicada a 2560 metros sobre el nivel del mar, donde al utilizar la tabla 9 y la formula (6), se obtiene el peso específico para dicha altura, de tal modo:

Altitud m.s.n.m	Presión (mbar)
2500	750
2560	altura
3000	701

$$\text{Altura} = 744.12 \text{ mbar}$$

$$\rho_2 = \frac{P_2 \times \rho_1}{P_1}$$

$$\rho_2 = \frac{(744.12)\text{mbar} \times \frac{1.1992\text{Kg}}{\text{m}^3}}{1013\text{mbar}}$$

$$\rho_2 = 0.880897 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Una vez encontrado el peso específico en la ciudad de Cuenca, se aplica la ecuación 5, quedando:

$$P_d = \frac{(18 \text{ m/s})^2 \times 0.880897 \text{ Kg/m}^3}{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2}$$

$$P_d = 14,456923 \text{ daN/m}^2$$

4.3.3.3 Presión Estática.

La presión causada por la fuerza de rozamiento del aire al avanzar por los tubos, se denomina **presión estática** P_e , [23]. (Ver Figura 21) calculada de la siguiente forma:

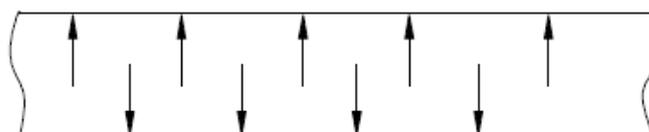


Figura 21.Presion Estática. Fuente: Autores.

$$P_e = l \times \frac{\lambda}{D} \times P_d = l \times \frac{\lambda}{D} \times \frac{\rho_{aire} \times V^2}{2 \times g} \quad (7)$$

Donde:

P_e = Presión estática (daN/m²)

l = Longitud de los tubos (m)

D = Diámetro del tubo (m)

λ = Coeficiente de resistencia del tubo

Un método para la determinación del coeficiente de resistencia del tubo es [23]:

$$\lambda = 0.0125 + \frac{0.0011}{D} \quad (8)$$

En la Tabla 10 se encuentran los valores de la longitud, diámetro y presión dinámica. Además, en la misma tabla aplicando la ecuación 7 y 8, se calculan el coeficiente de resistencia y la presión estática en cada ducto.

Tabla 10.Cálculo de pérdidas de presión y coeficientes de resistencia. Fuente: Autores.

Tramo	Tramo	Diámetro Comercial (m)	Longitud (m)	P. Dinámica (Dan/M2)	Coefficiente Resistencia	P. Estática (Dan/M2)
Tramo 1	L-1	0,1524	4,75	14,5469	0,0197	8,94
	SB-1	0,0508	3,165	14,5469	0,0341	30,95
	1.-2	0,1651	0,881	14,5469	0,0191	1,48
	P-2	0,0635	5,048	14,5469	0,0298	34,48
	2.-3	0,1778	4,409	14,5469	0,0186	6,74
Tramo 2	CA-3	0,1524	7,623	14,5469	0,0197	14,34
	3.-5	0,2286	2,237	14,5469	0,0173	2,46
Tramo 3	I1-4	0,0381	4,053	14,5469	0,0413	64,02
	B1-4	0,0381	8,473	14,5469	0,0413	133,83
	4.-5	0,0508	3,247	14,5469	0,0341	31,75
	5.-6	0,2286	1,061	14,5469	0,0173	1,16
Tramo 4	C-6	0,1016	5,981	14,5469	0,0233	19,97
	6.-10	0,254	1,312	14,5469	0,0168	1,26
Tramo 5	B2-7	0,0381	8,393	14,5469	0,0413	132,57
	TL-7	0,0254	3,041	14,5469	0,0558	97,19
	7.-8	0,0508	1,436	14,5469	0,0341	14,04
	S-8	0,1014	4,1	14,5469	0,0233	13,73
	8.-9	0,1143	0,739	14,5469	0,0221	2,08
	SM-9	0,0635	5,139	14,5469	0,0298	35,10
	9.-10	0,127	1,488	14,5469	0,0211	3,60
	10.-14	0,2794	1,661	14,5469	0,0164	1,42
Tramo 6	I2-11	0,0381	4,505	14,5469	0,0413	71,16
	T-11	0,127	3,866	14,5469	0,0211	9,37
	11.-12	0,127	0,836	14,5469	0,0211	2,02
	SC-12	0,0635	4,144	14,5469	0,0298	28,31
	12.-13	0,1524	3,271	14,5469	0,0197	6,15
	B3-13	0,0381	5,834	14,5469	0,0413	92,15

13.-14	0,1524	1,217	14,5469	0,0197	2,29
14.-15	0,3302	0,945	14,5469	0,0158	0,65

4.3.3.3.1 Resistencia Unitaria.

Es la resistencia que producen los distintos elementos que componen el sistema tales como tuberías, codos, desviaciones, reducciones, colectores y la resistencia del separador de virutas. Se calcula mediante un factor de resistencia unitaria multiplicada por la presión dinámica del aire dentro del tubo. Con ello, se genera una pérdida de presión por las diferentes resistencias unitarias calculadas con las siguientes formulas [13]:

$$r_u = \zeta \times P_d \quad (9)$$

$$P_{ru} = \sum \zeta_n \times \frac{\rho_{aire} \times V^2}{2 \times g} \quad (10)$$

Donde:

P_{ru} = Perdida de presión por resistencia unitaria

ζ = Factor de resistencia unitaria

r_u = Resistencia unitaria

El radio de los codos no deberían ser menores a dos o tres veces el diámetro del tubo. El radio aplicado en este documento es $r=2D$

4.3.3.3.2 Factores de resistencia para distintos elementos.

En la Tabla 11 se encuentran los accesorios y sus respectivos coeficientes de fricción que se usaran para el cálculo de las pérdidas totales.

Tabla 11. Accesorios y coeficientes de fricción. Fuente: Autores.

Conducto	Accesorios	Angulo	Coef de fricción
Tramo 1			
L-1	Codo	90	0,15
L-1	V. mariposa	Abierta	0,2
SB-1	Codo	90	0,15
SB-1	V. mariposa	Abierta	0,2
L-SB	Te y	60	0,5
P-1	Te y	60	0,5
P-2	V. mariposa	Abierta	0,2
P-2	Codo	90	0,15
SUMA			2,05
Tramo 2			
CA-2	Te y	60	0,5
CA-3	V. mariposa	Abierta	0,2
CA-3	Codo	90	0,15
SUMA			0,85
Tramo 3			
II-B1	Te y	45	0,25
II-4	V. mariposa	Abierta	0,2

I1-4	Codo	90	0,15
B1-4	T. mariposa	Abierta	0,2
B1-4	Codo	90	0,15
3.-4	Te y	60	0,5
SUMA			1,45
Tramo 4			
C-5	Te y	60	0,5
C-6	V. mariposa	Abierta	0,2
C-6	Codo	90	0,15
SUMA			0,85
Tramo 5			
B2-TL	Te y	45	0,25
B2-7	V. mariposa	Abierta	0,2
B2-7	Codo	90	0,15
TL-7	V. mariposa	Abierta	0,2
TL-7	Codo	90	0,15
7.-S	Te y	45	0,25
S-8	V. mariposa	Abierta	0,2
S-8	Codo	90	0,15
SM-8	Te y	30	0,2
SM-9	V. mariposa	Abierta	0,2
SM-9	Codo	90	0,15
6.-9	Te y	30	0,2
SUMA			2,3
Tramo 6			
I2-T	Te y	30	0,2
I2-10	V. mariposa	Abierta	0,2
I2-10	Codo	90	0,15
T-10	V. mariposa	Abierta	0,2
T-10	Codo	90	0,15
SC-10	Te y	30	0,2
SC-11	V. mariposa	Abierta	0,2
SC-11	Codo	90	0,15
B3-11	Te y	60	0,5
B3-12	V. mariposa	Abierta	0,2
B3-12	Codo	90	0,15
9.-12	Te y	60	0,5
SUMA			2,8

Una vez obtenidos los coeficientes de fricción para los accesorios se calculan las pérdidas en ellos y se suman a las pérdidas de los conductos obteniendo la Tabla 12:

Tabla 12. Pérdidas de presión totales. Fuente: Autores.

TRAMO	P. ESTATICAS (daN/m ²)	COEF. FRICCION	P.RESIST.UNIT (daN/m ²)	PERDIDA PRESION TOTAL (daN/m ²)
1	82,6101	2,05	29,8211	112,4313
2	16,8117	0,85	12,3648	29,1765
3	230,7851	1,45	21,0930	251,8781
4	21,2405	0,85	12,3648	33,6054
5	299,7662	2,3	33,4579	333,2241
6	211,4702	2,8	40,7313	252,2016

4.3.3.4 Selección del extractor.

Los parámetros necesarios para la selección del extractor adecuado para el sistema son el caudal que ingresa y la presión necesaria a vencer, tomando estos de las Tablas 10 y 12, obteniendo los datos en distintas unidades para efectos de búsqueda del extractor en distintos catálogos:

Tabla 13. Equivalencia de unidades. Fuente: Autores.

Unidad	m ³ /s	m ³ /h	cfm	
Caudal	1,54	5544	3263,075	
Unidad	daN/m ²	Pa	Mm H2O	in H2O
Presión	333,224	3332,24	339,79	13,39
(FS 1,25)	416,53	4165,3	424,74	16,74

Luego de la búsqueda en catálogos, se encuentra un motor de 15 HP, con la curva característica mostrada en la Figura 22 [7].

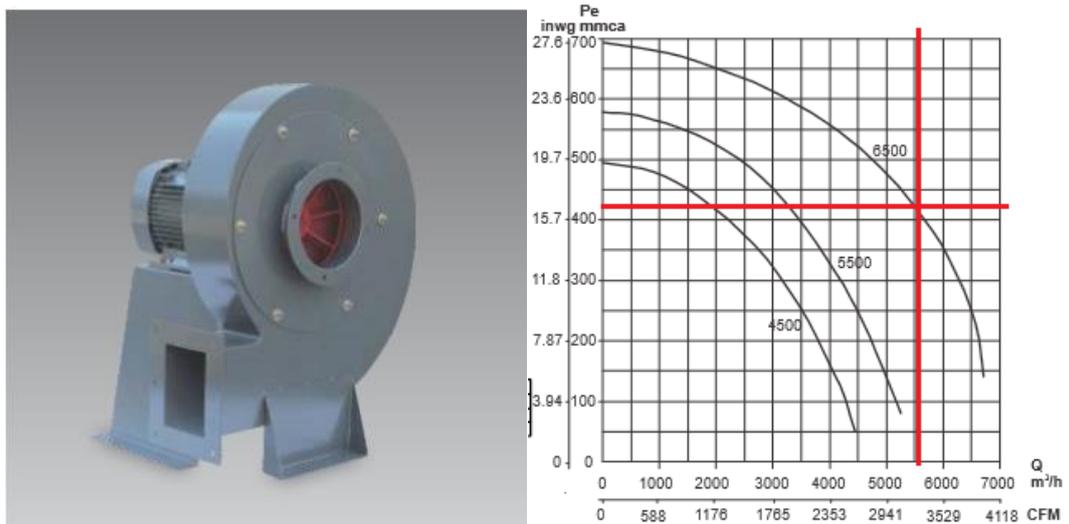


Figura 22. Curva Característica del ventilador. Fuente: [7]

El equipo seleccionado es conocido como extractor centrífugo de alabes radiales de mediana presión, modelo CX 6500, que presenta las características mostradas en la Tabla 14.

Tabla 14. Características técnicas del extractor. Fuente: Autores.

Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m ³ /CFM	Presión sonora dB(A)	Peso aprox. kg
3520	15	208-230/460	34/17	6500/3824	93	182

Para la verificación de la selección correcta del extractor, se utilizó un software utilizado frecuentemente en el ámbito laboral para la selección de ventiladores, encontrando este en la dirección electrónica fanware.casals.tv. [24]. Se ingresa los valores iniciales de caudal (m³/h) y presión requeridos (Pa), en las unidades requeridas para el programa (ver Figura 23).

Airflow/pressure values ▼

Flow (m³/h)

Pressure (Pa)

Number of fans - 5544 m³/h

Figura 23. Ingreso de datos en el software. Fuente: [24]

Obteniendo EXTARCTORES DE MEDIA o ALTA PRESION CON IMPULSOR HACIA ATRÁS, concordando valores de potencia del motor de 15 HP con lo presentado en la figura 22. Dichos modelos son presentados en la Tabla 15 (Ver Figura 24).

Tabla 15. Modelos de extractores encontrados en el software. Fuente [24]

MODELO	CAUDAL (m ³ /h)	PRESION (Pa)	VELOCIDAD (RPM)	POTENCIA kW/HP
MTRM 500	5610,48	4265,49	3050	11 / 15
MTRU 560	5638,76	4308,59	2700	11 / 15
AATVP 1120	5729,53	4448,43	1300	11 / 15
AATVG/N 710	5599,68	4249,08	2150	11 / 15
AATVG/N 800	5687,91	4384,04	1900	11 / 15
MTGR 560	5610,48	4265,49	2800	11 / 15

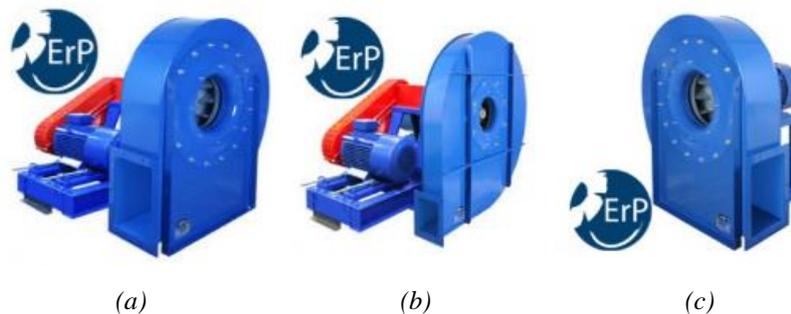


Figura 24. Extractores de (a) Media presión con impulsor hacia atrás. (b) Alta presión con impulsor hacia atrás. (c) Media presión con impulsor hacia atrás.

El extractor de presión media con impulsor hacia atrás (Figura 24c), es semejante al extractor seleccionado mediante catalogo presentando los parámetros que se indican en la Tabla 16.

Tabla 16. Características del extractor MTGR 560. Fuente: Autores.

Extractor	Peso kg	CAUDAL					
	227	m ³ /h					
Motor	Potencia kW	Velocidad	RPM	I máx. A	Peso kg.	Eficiencia	FP
	11	2940		20,8	85	90%	0,85

4.3.3.5 Dimensionado del ciclón.

El tipo de ciclón seleccionado para el diseño es de alta eficiencia, debido a que el desfogue de aire va a ser dentro de la misma planta. Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para remover la mayor cantidad de partículas y de menor diámetro alcanzando remociones de PM 2,5 hasta en un 70% [25].

Entre los ciclones de alta eficiencia se puede destacar: Stairmand, Swift, Echeverri; de los cuales se diseña el ciclón de alta eficiencia tipo Stairmand, con las siguientes características [25]. (Ver Tabla 17) (Figura 25):

Tabla 17. Dimensionado de ciclones de alta eficiencia. Fuente: Autores

Dimencion	Nomenclatura	Stairmand
Díametro del ciclón	D_c/D_c	1
Altura de entrada	a/D_c	0,5
Ancho de la entrada	b/D_c	0,2
Altura de salida	S/D_c	0,5
Díametro de salida	D_s/D_c	0,5
Altura parte cilíndrica	h/D_c	1,5
Altura parte conica	z/D_c	2,5
Altura total del ciclón	H/D_c	4
Díametro de salida de partículas	B/D_c	0,375
Factor de configuración	G	551,22
Número de cabezas de velocidad	NH	6,4
Número de vórtices	N	5,5

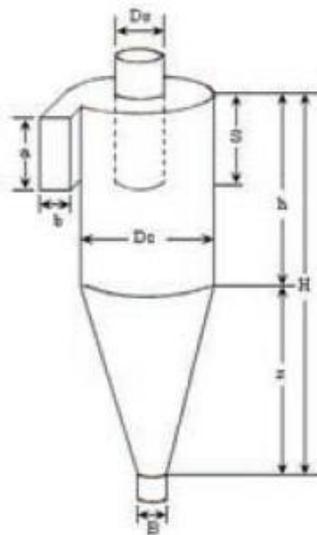


Figura 25. Nomenclatura de dimensiones. Fuente: Autores.

Como dato inicial tenemos que el conducto de entrada al ciclón tiene un diámetro de 330 mm (Ver Tabla 17) el cual será el dato de la altura de la entrada del ciclón.

Diámetro del ciclón (Dc)

$$\frac{a}{D_c} = 0,5 \quad (11)$$
$$D_c = \frac{330}{0,5} = 660 \text{ mm}$$

Altura de salida (S)

$$\frac{S}{D_c} = 0,5 \quad (12)$$
$$S = 0,5 \times 660 = 330 \text{ mm}$$

Diámetro de salida (Ds)

$$\frac{D_s}{D_c} = 0,5 \quad (13)$$
$$D_s = 0,5 \times 660 = 330 \text{ mm}$$

Altura parte cilíndrica (h)

$$\frac{h}{D_c} = 1,5 \quad (14)$$
$$h = 1,5 \times 660 = 990 \text{ mm}$$

Altura parte cónica (z)

$$\frac{z}{D_c} = 2,5 \quad (15)$$
$$z = 2,5 \times 660 = 1650 \text{ mm}$$

Altura total del ciclón (H)

$$\frac{H}{D_c} = 4 \quad (16)$$
$$H = 4 \times 660 = 2640 \text{ mm}$$

Diámetro de salida de partículas (B)

$$\frac{B}{D_c} = 0,375 \quad (17)$$
$$B = 247,5 \text{ mm}$$

4.3.3.6 Dimensionado del Silo.

Las dimensiones del silo se diseñan en base a parámetros como: cantidad de viruta producida, intervalos de vaciado y espacio disponible.

De la Tabla 18, se obtiene el valor que produce todas las maquinas funcionando a plena carga.

Tabla 18. Flujo másico máquinas de la carpintería PACES. Fuente: Autores.

Equipo	Flujo másico (g/día)
Ingleteadora	12068,37
Cierra de brazo	4576,5
Canteadora	90796,65
Cepilladora	175044,86
Tupi	353,7
Lijadora de banda	1577,57
Cierra circular	15111,36
Cierra de cinta	3672
Perforadora	2300,67
Lijadora circular	1344,6
Total flujo	306846,27

La cantidad de viruta que se produciría en la carpintería del programa PACES, con un trabajo a plena carga en la jornada laboral es de aproximadamente 307 kg.

Dado el espacio donde se plantea ubicar el silo, este elemento no debería sobrepasar un diámetro de 1.30 metros, planteando un diámetro de 1.20 metros. La altura establecida es de 1.50 metros y una lámina de 3 mm, conteniendo un volumen de 1,32 m³ representando en la Figura 26.

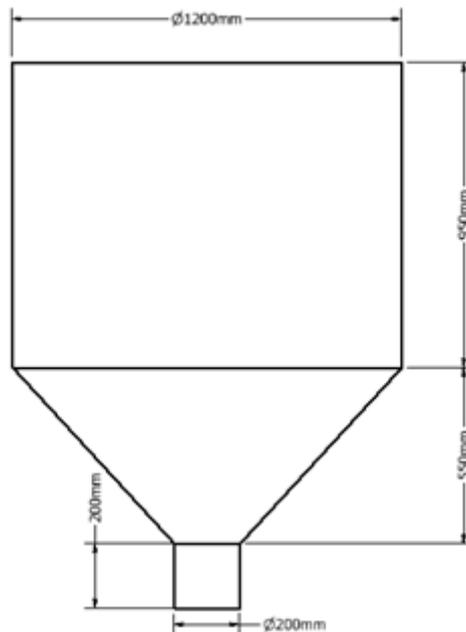


Figura 26. Dimensiones de Silo. Fuente: Autores.

Dada una densidad promedio de la madera de 265 kg/m^3 , aplicamos la formula (18):

$$m = V \times \rho \quad (18)$$

Donde:

V = Volumen

m = Masa

ρ = Densidad

$$m = 1,32 \text{ m}^3 \times 265 \text{ kg/m}^3 = 349,8 \text{ kg}$$

Dado este resultado de la masa producida, se tiene que realizar el vaciado del silo diariamente en 7 sacos de 45 kg.

Si bien es cierto, estos resultados se los debe aplicar cuando el trabajo sea en condiciones de exigencia máxima, es decir, las maquinas trabajan durante toda la jornada laboral, también se presenta a continuación el vaciado del silo en condiciones de trabajo tomadas actualmente.

En la Tabla 19 se presentan los datos tomados de producción recabada de promedios diarios durante cada semana.

Tabla 19.Pesos diarios de viruta. Fuente: Autores.

Numero de día	Peso en gramos
1	12565,67
2	14300,56
3	15130,18
4	12456,23
5	16670,87
Total semanal	74123,51

El valor semanal es de 74,123 kg, en el cual observamos que se tendrá que extraer el contenido del silo una vez por semana utilizando sacos de 45 kg o en su defecto cada 15 días.

4.4 Simulación ANSYS (Tramo 5).

4.4.1 Creación de la geometría a simular.

Para la simulacion de perdidas por friccion se selecciono el tramo 5 que es el que presenta mayor perdidas, asi mismo es el tramo de mayor significancia para el dimensionado del aspirador. En la Figura 27, se observa la geometria del tramo a simular, la geometria se creo en inventor y se exporto con extencion (.igs).

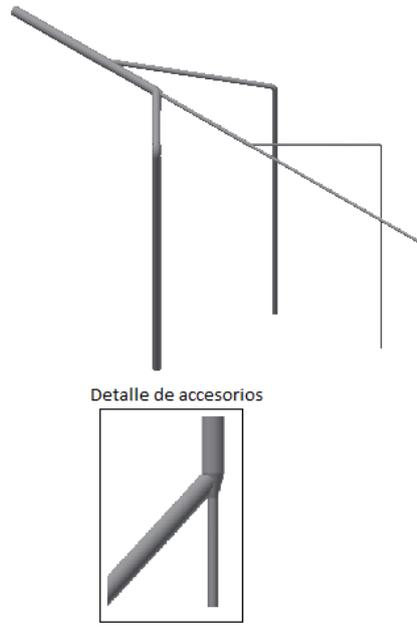


Figura 27. Geometría del tramo 5. Fuente: Autores.

4.4.2 Definición de entradas y salidas.

Para el mallado primero se debe definir las entradas, salidas y la frontera en la geometría. En la Figura 28, se encuentran definidas las entradas (**inlet**), salida (**outlet**) y la frontera (**wall**).

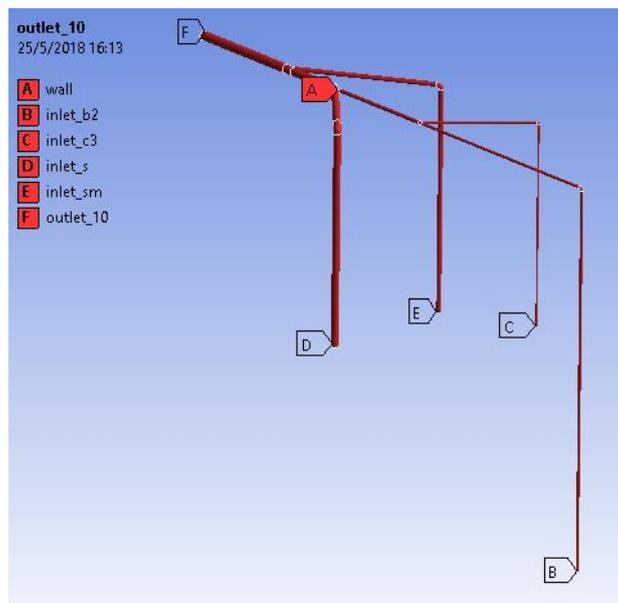


Figura 28. Entradas y salidas. Fuente: Autores

4.4.3 Mallado.

Para el mallado se seleccionó el comando **inflation** en todas las caras seleccionadas, y colocar la opción pared (**Wall**), en la Figura 29 se observa las características del mallado.

Sizing	
Size Function	Curvature
Relevance Center	Coarse
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal Angle	Default (18,0 °)
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (4,5414e-003 m)
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (0,454140 m)
<input type="checkbox"/> Max Tet Size	Default (0,908290 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default (2,2707e-003 m)
Minimum Edge Length	4,6248e-002 m

Inflation	
Use Automatic Inflation	All Faces in Chosen Named Selection
Named Selection	wall
Inflation Option	Smooth Transition
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,77
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No

Figura 29. Condiciones del mallado. Fuente: Autores.

Una vez seleccionado las condiciones del mallado se genera el mallado (Ver Figura 30), en la opción **update** actualizando los datos.

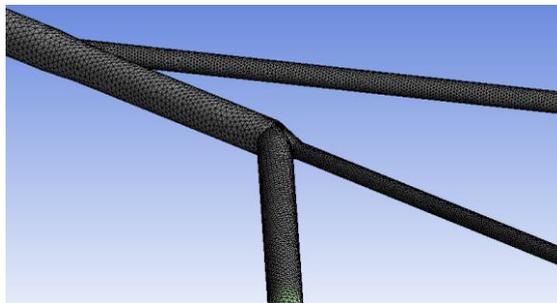


Figura 30. Mallado. Fuente: Autores.

Se debe de hacer una revisión del mallado sobre todo en sus aristas y uniones para, de ser necesario, mejorar la calidad del mismo.

En el presente proyecto no se lo hizo ninguna corrección debido a que el mallado estuvo definido de buena manera incluso en las aristas y uniones.

4.4.4 Condiciones de entrada.

Dentro de las condiciones de entrada se encuentran los valores de velocidad, presión y propiedades del fluido, el análisis a realizarse es estacionario (**steady state**).

Se crean las entradas y salidas con un nombre específico para la ubicación en la geometría y para la respectiva asignación de los valores en cada punto (Ver Figura 31 y Tabla 20).

En la figura 32 se encuentra la presión en la salida del tramo 5 en análisis (outlet_10) de 133.83 daN/m² valor obtenido en los cálculos analíticos.

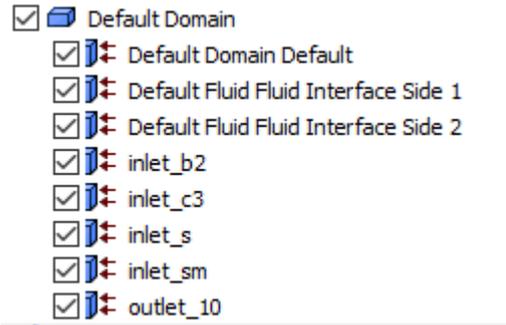


Figura 31. Asignación de condiciones de entrada y salida. Fuente: Autores.

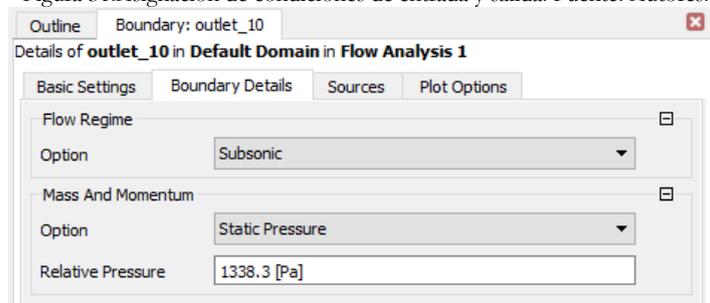


Figura 32. Presión en la salida del tramo 5. Fuente: Autores.

Tabla 20. Valores de entrada y salida. Fuente: Autores.

Región	Boudary Tipe	Option	value
Inlet_b2	Inlet	Normal Speed	18 m ² /s
Inlet_c3	Inlet	Normal Speed	18 m ² /s
Inlet_s	Inlet	Normal Speed	18 m ² /s
Inlet_sm	Inlet	Normal Speed	18 m ² /s
Outlet_10	Outlet	Static Presure	1338.3 Pa
Wall	Wall	No slip wall	-

4.4.4.1 Propiedades del fluido.

Para el análisis es necesario modificar las propiedades del material (acero galvanizado) y el fluido (aire + viruta) (Ver Figura 33).

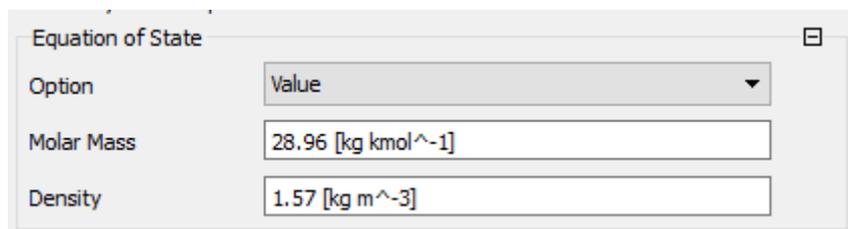


Figura 33. Densidad del fluido. Fuente: Autores.

Dentro de la opción **default dominan** se colocó la temperatura del aire 25°C, y la opción **k-Épsilon**.

La densidad utilizada corresponde al valor de la densidad del ambiente a la altura de la ciudad de Cuenca (2560 m.s.n.m.) sumado el porcentaje de la densidad de la viruta y el polvo que se pretende aspirar con ello. Dado que la densidad del polvo y viruta forman parte de la densidad del aire al estar suspendidos con este componente, la densidad se presenta con un valor mucho menor al de la madera compacta.

La densidad máxima suspendida que se obtiene del análisis realizado en el capítulo 1, es de 0,0000278 kg/m³, la cual se presenta en la Tabla 1.4. La densidad de la viruta de madera es de 90 kg/m³ [26], obteniendo un promedio de densidad con la ayuda de la ecuación 19:

$$\delta_{mezcla} = \frac{\delta_{aire,polvo} + \delta_{viruta}}{2} \quad (19)$$

$$\delta_{mezcla} = \frac{0,0000278 + 90}{2} = 45,0000139 \text{ kg/m}^3$$

Asumimos que como cantidad mínima requerida, se debe aspirar un 3,5 % de la densidad obtenida, obteniendo el valor de la densidad de 1,57 kg/m³. Esta cantidad será una cifra base de viruta en reposo, ya que el valor aumenta sabiendo que la aspiración se realiza con partículas suspendidas.

4.4.5 Solve Control.

Dentro de las configuraciones para la solución se seleccionó un número de 1000 iteraciones y el error residual de 0,0001, valores con los que se trabajara la simulación (Ver Figura 34).

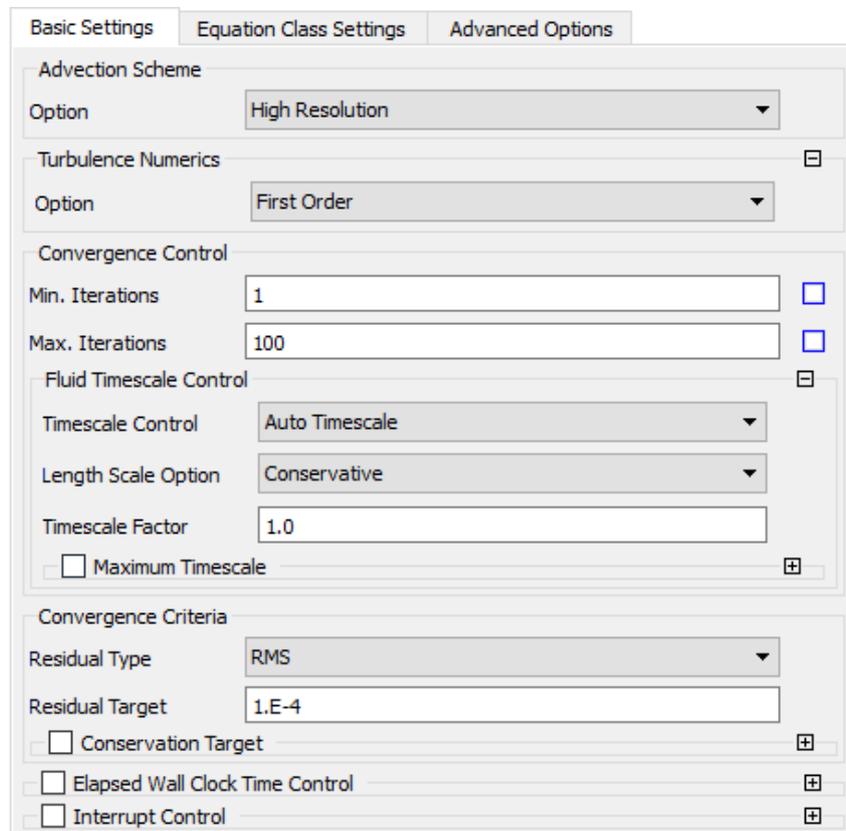


Figura 34. Configuración para la solución. Fuente: Autores.

4.4.6 Solución.

Una vez seleccionado los parámetros de geometría, propiedades de fluido y condiciones de solución se procede a la simulación (**start run**).

4.4.6.1 Solución de velocidades.

La simulación nos da los resultados de velocidad mostrados en la Tabla 21 así como el mapa de velocidades en la Figura 35.

Tabla 21. Velocidades en los ductos. Fuente: Autores.

Ducto	Velocidades
b2	17,96 m/s
c3	17,95 m/s
s	17,97 m/s
sm	17,97 m/s
Salida	18,3 m/s

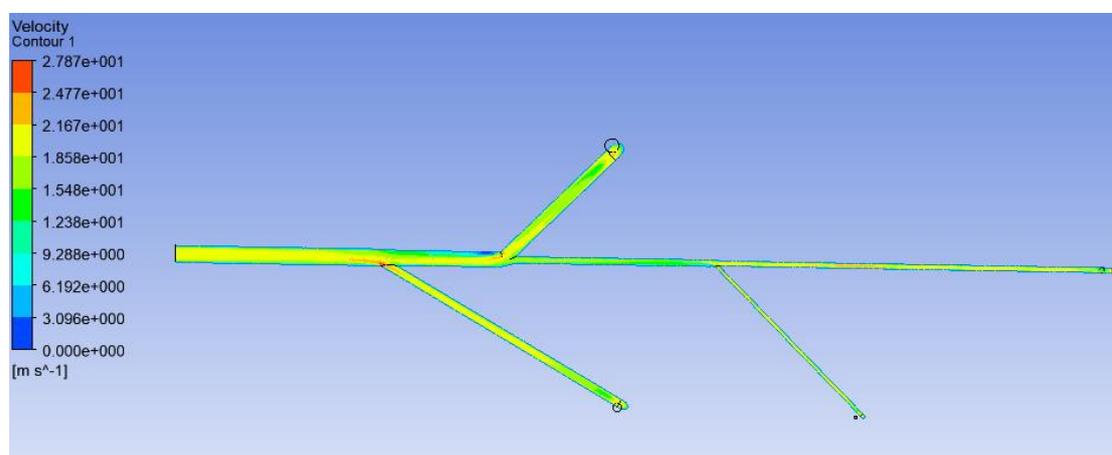


Figura 35. Mapa de velocidades. Fuente: Autores.

4.4.6.2 Solución de presión.

Las pérdidas de presión dentro del tramo 5 se muestran en la Tabla 22 y el mapa de presiones en la Figura 36.

Tabla 22. Pérdidas de presión en los ductos. Fuente: Autores.

Ducto	Presión daN/m ²
2-7	132,3
T1-7	101,8
s-8	21,89
Sm-9	41,65
9 – 10	9,43

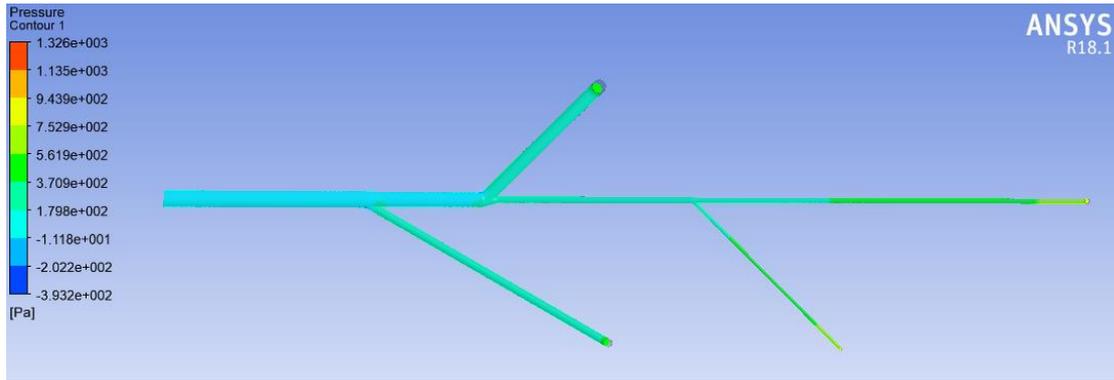


Figura 36. Mapa de pérdidas de presión. Fuente: Autores.

4.4.7 Comparación de resultados analíticos y de simulación.

4.4.7.1 Velocidades.

En la Tabla 22 se puede observar las velocidades dentro de los ductos, los valores de velocidad que nos garantizan una succión dentro de los ductos debe estar dentro del rango 15 a 20 m/s [22][12]. Al encontrarse los valores dentro de este rango, se garantiza que se está produciendo succión dentro del diseño.

4.4.7.2 Pérdidas de presión.

En la Tabla 23 se observa la comparación y el error entre los valores analíticos y de la simulación de las pérdidas de fricción teniendo el valor de error más alto en el tramo s-8.

Tabla 23. Comparación perdidas simulación/ analítica. Fuente: Autores

Ducto	Presión Analítica daN/m ²	Presión Simulación daN/m ²	Error %
b2-7	132,57	132,3	0,20
Tl-7	97,19	101,8	4,73
s-8	13,73	21,89	59,39
Sm-9	35,10	41,65	18,62
9-10	3,60	9,43	-161,1

En la Figura 37 se muestra estos valores de forma gráfica entre los valores analíticos y simulados.

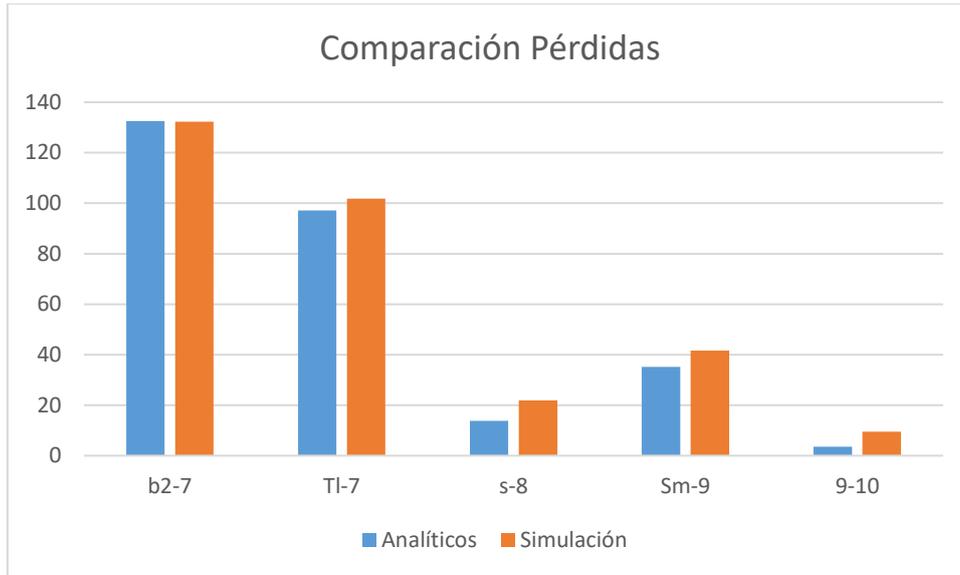


Figura 37. Comparación de pérdidas de presión. Fuente: Autores

4.4.7.2 Comparación de Pérdida totales en el tramo 5.

Para la comparación total de las perdidas en el tramo 5, en la Tabla 24 se muestra los valores totales de pérdidas en el tramo 5.

Tabla 24. Comparación de pérdidas totales. Fuente: Autores.

Pérdida Analítica daN/m ²	Pérdida simulación daN/m ²	Error %
331,80	307,07	7,45

La Figura 38, muestra gráficamente los valores totales de pérdidas.

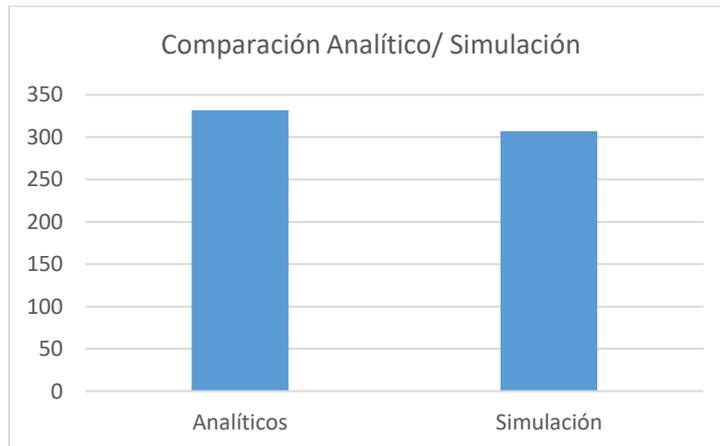


Figura 38. Comparación de pérdidas totales. Fuente: Autores.

4.4.8 Análisis comparativo.

Basados en el error obtenido de 7,45% en comparación de las pérdidas totales que se encuentra dentro del sistema de tubería del tramo 5, entre los cálculos analíticos y la simulación, se da como validado el sistema de extracción diseñado.

5. METODOLOGIA.

5.1 Tipo de investigación.

En este trabajo se empleará una metodología descriptiva del cómo se llevara a cabo el diseño de un extractor de polvo y viruta para la Fundación Salesiana PACES, sujetándonos a los siguientes pasos a realizar:

Como primer paso, realizamos una revisión bibliográfica referente al tema de Diseño de sistemas de extracción de polvo y viruta, con la finalidad de tener los conocimientos necesarios para la clasificación, caracterización y componentes, además de las normas a las que tiene que estar sujetas.

Reconocimiento y recolección de datos de la carpintería de la cual se realizará el diseño de la extracción de polvo y viruta, esto es: medidas de las superficies del taller, alturas, medición de partículas de polvo presentes en el ambiente, cantidad de producción de viruta de cada máquina.

Una vez realizado el estudio del estado actual de la Carpintería sobre la cantidad de polvo presente en el ambiente y teniendo en cuenta los estándares normativos presentes, establecemos el tipo de extracción de polvo de madera y sus elementos constitutivos con los parámetros y procedimientos necesarios del área de la carpintería.

Se realizara el cálculo y dimensionamiento de los elementos empleados mediante fórmulas introduciendo los datos recolectados.

Se realizara la simulación del funcionamiento del sistema de extracción bajo los parámetros establecidos en el Software ANSYS, con la finalidad de comparar con los resultados de los cálculos analíticos realizados.

Finalmente, se realizara el análisis de factibilidad de la implementación del sistema de extracción de polvo para madera dentro de la carpintería de la Fundación PACES, bajo factores económicos y técnicos.

5.2 Diseño de la investigación.

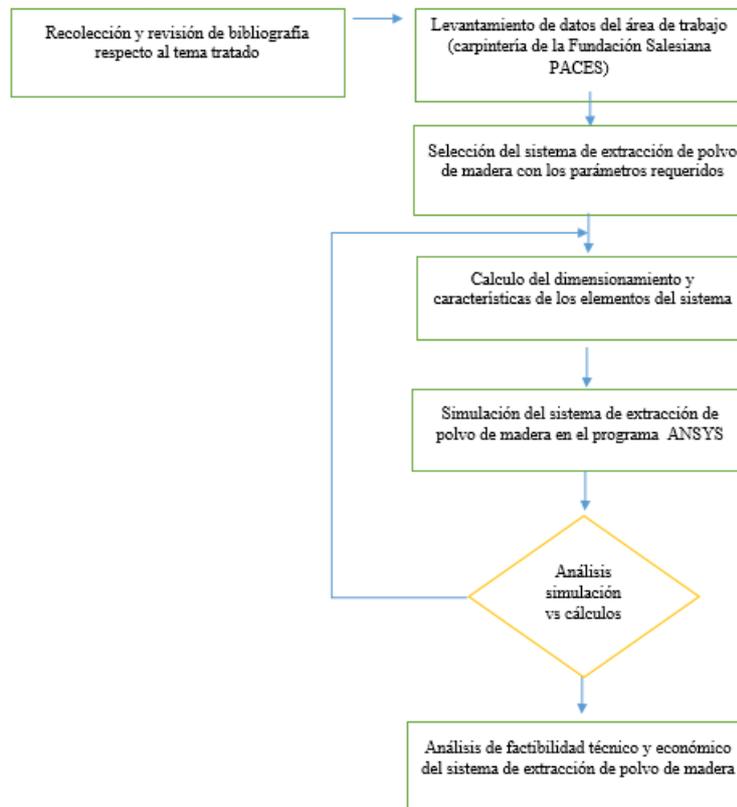


Figura 39. Flujograma de investigación. Fuente: Autores

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 Análisis de factibilidad técnica y económica.

6.1.1 Factibilidad técnica.

Dentro del diseño del sistema de extracción de polvo de madera para la carpintería del programa PACES, se presentan algunas restricciones de diseño las cuales se deben cumplir, estas son:

- Ubicación del silo: debido a la disposición del taller la ubicación del silo puede ser ubicado únicamente en el sector de lacado.
- Altura para la red de tubería: la altura mínima a la cual se puede colocar las redes de tubería es de 3.25 metros debido a la estructura del taller.

Considerando estas restricciones en el diseño, y una vez seleccionado el sistema de extracción localizado el cual se adapta a las condiciones de funcionamiento e infraestructura del taller de carpintería del programa PACES.

Se determina que el sistema de extracción de viruta y polvo de madera debe contar con las siguientes características:

6.1.1.1 Ducteria.

Las longitudes de los ductos están basados en la Figura 19 de la sección 4.3.1. En la Tabla 25 se indican las longitudes y diámetros que debe cumplir los ductos.

Tabla 25. Dimensiones de los ductos. Fuente: Autores.

	TRAMO	DIAMETRO COMERCIAL (m)	LONGITUD (m)
Tramo 1	L-1	0,1524	4,75
	SB-1	0,0508	3,16
	1.-2	0,1651	0,88
	P-2	0,0635	5,04
	2.-3	0,1778	4,40
Tramo 2	CA-3	0,1524	7,62
	3.-5	0,2286	2,23
Tramo 3	I1-4	0,0381	4,05
	B1-4	0,0381	8,47
	4.-5	0,0508	3,24
	5.-6	0,2286	1,06
Tramo 4	C-6	0,1016	5,98
	6.-10	0,254	1,31
Tramo 5	B2-7	0,0381	8,39
	TL-7	0,0254	3,04
	7.-8	0,0508	1,43
	S-8	0,1014	4,10
	8.-9	0,1143	0,73
	SM-9	0,0635	5,13
	9.-10	0,127	1,48
	10.-14	0,2794	1,66
Tramo 6	I2-11	0,0381	4,50
	T-11	0,127	3,86
	11.-12	0,127	0,83
	SC-12	0,0635	4,14
	12.-13	0,1524	3,27
	B3-13	0,0381	5,83
	13.-14	0,1524	1,21
	14.-15	0,3302	0,94

6.1.1.2 Accesorios.

En la Tabla 26 se muestran los accesorios con los que se diseñó el sistema de extracción.

Tabla 26. Lita de accesorios. Fuente: Autores.

Conducto	Accesorios	Angulo	Coef de fricción
Tramo 1			
L-1	Codo	90	0,15
L-1	V. mariposa	Abierta	0,2
SB-1	Codo	90	0,15
SB-1	V. mariposa	Abierta	0,2
L-SB	Te y	60	0,5
P-1	Te y	60	0,5
P-2	V. mariposa	Abierta	0,2
P-2	Codo	90	0,15
SUMA			2,05
Tramo 2			
CA-2	Te y	60	0,5
CA-3	V. mariposa	Abierta	0,2
CA-3	Codo	90	0,15
SUMA			0,85
Tramo 3			

I1-B1	Te y	45	0,25
I1-4	V. mariposa	Abierta	0,2
I1-4	Codo	90	0,15
B1-4	T. mariposa	Abierta	0,2
B1-4	Codo	90	0,15
3.-4	Te y	60	0,5
SUMA			1,45
Tramo 4			
C-5	Te y	60	0,5
C-6	V. mariposa	Abierta	0,2
C-6	Codo	90	0,15
SUMA			0,85
Tramo 5			
B2-TL	Te y	45	0,25
B2-7	V. mariposa	Abierta	0,2
B2-7	Codo	90	0,15
TL-7	V. mariposa	Abierta	0,2
TL-7	Codo	90	0,15
7.-S	Te y	45	0,25
S-8	V. mariposa	Abierta	0,2
S-8	Codo	90	0,15
SM-8	Te y	30	0,2
SM-9	V. mariposa	Abierta	0,2
SM-9	Codo	90	0,15
6.-9	Te y	30	0,2
SUMA			2,3
Tramo 6			
I2-T	Te y	30	0,2
I2-10	V. mariposa	Abierta	0,2
I2-10	Codo	90	0,15
T-10	V. mariposa	Abierta	0,2
T-10	Codo	90	0,15
SC-10	Te y	30	0,2
SC-11	V. mariposa	Abierta	0,2
SC-11	Codo	90	0,15
B3-11	Te y	60	0,5
B3-12	V. mariposa	Abierta	0,2
B3-12	Codo	90	0,15
9.-12	Te y	60	0,5
SUMA			2,8

6.1.1.3 Aspirador (extractor).

El aspirador o extractor debe cumplir con las características de caudal y presión mostradas en la Tabla 27 y en la Figura 40.

Tabla 27. Datos del extractor. Fuente: Autores.

Caudal	Presión
5544 m ³ /h	4165 Pascales

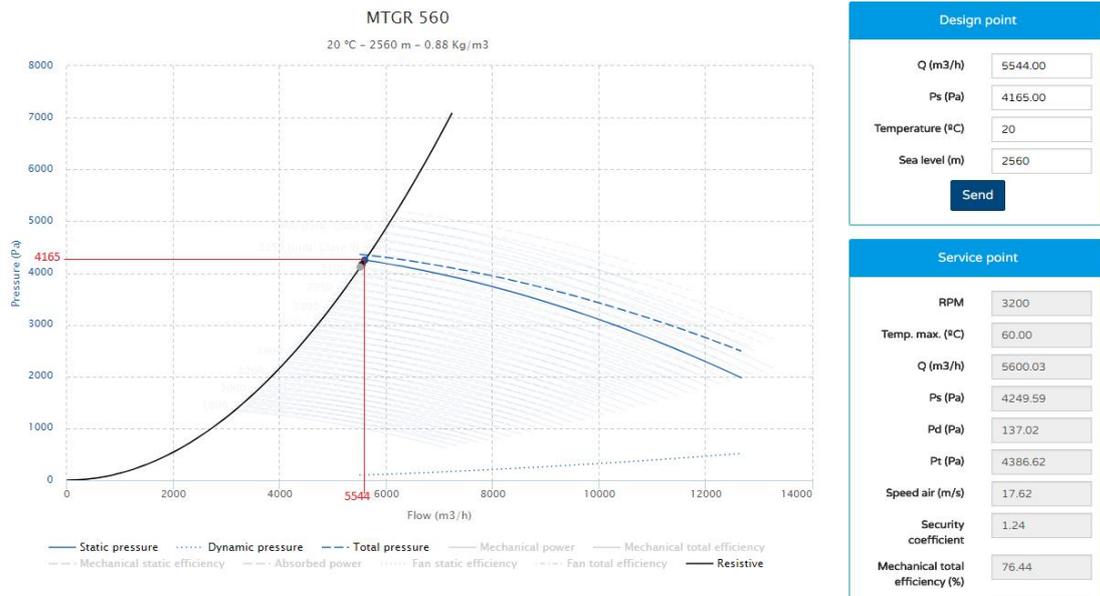


Figura 40. Selección del extractor. Fuente: [24]

El extractor seleccionado bajo estas características debe ser de 15 HP en nuestro caso es el modelo MTGR 560 de la marca Casals.

6.1.1.4 Ciclón.

El ciclón debe tener las dimensiones mostradas en la Tabla 28:

Tabla 28. Dimensiones del ciclón. Fuente: Autores.

Descripción	Nomenclatura	Dimensión (mm)
Diámetro ciclón	Dc	660
Altura de salida	S	330
Diámetro de salida	Ds	330
Altura parte cilíndrica	h	990
Altura parte cónica	Z	1650
Altura total	H	2640
Diámetro de salida	B	247,5

6.1.1.4 Silo.

El silo cuenta con capacidad de 449,56 kg, para ser vaciado semanalmente, en la Figura 41 se observa las dimensiones que debe tener el silo.

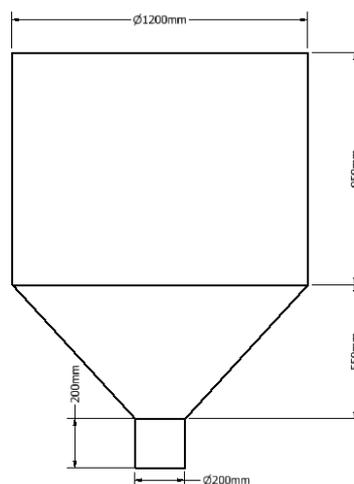


Figura 41. Dimensiones del silo. Fuente: Autores

6.1.1.5 Proyección del diseño final.

El Figura 42 se observa un esquema de cómo es actualmente el taller de carpintería del proyecto PACES.

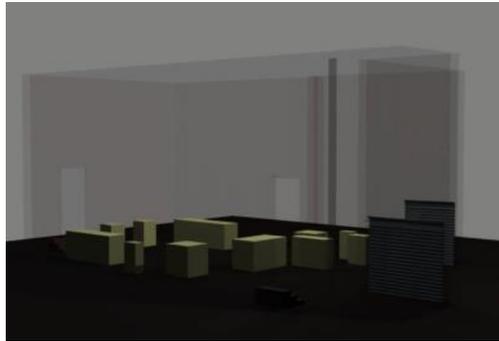


Figura 42. Esquema actual del taller. Fuente: Autores

En la Figura 43 se observa la proyección final de la implementación del sistema de extracción dentro del taller.

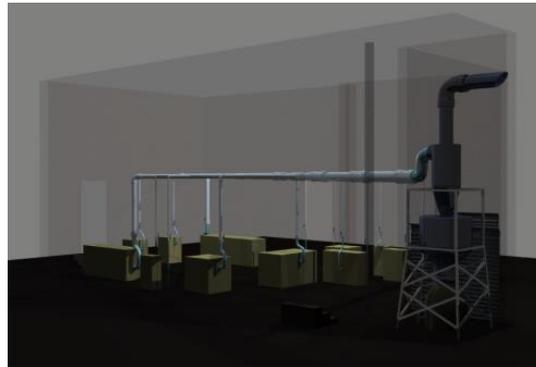


Figura 43. Proyección final del sistema de extracción. Fuente: Autores

6.1.2 Factibilidad Económica.

Para el análisis de factibilidad económica se usara los elementos del costo mostrados en la Figura 44.

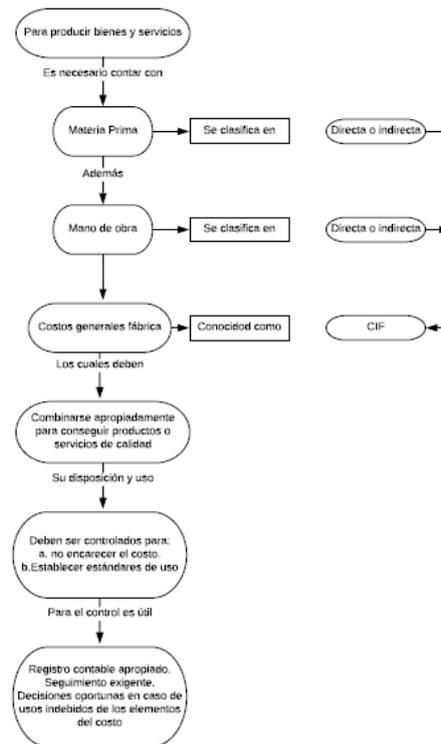


Figura 44. Elementos del costo. Fuente: Autores

6.1.2.1 Sistema de acumulación del costo: Ordenes de producción.

Esta clasificación, que relaciona la forma de producción con el procedimiento de acumular los costos, permite establecer los dos únicos sistemas tradicionales que son:

- Sistema de acumulación por ordines de producción, usados por empresas que fabrican a pedido o en lotes.
- Sistema de acumulación por procesos, usados por empresas que producen en serie y por ende a gran escala [27].

6.1.2.2 Conceptos del costo.

En el sistema denominado órdenes de producción es menester efectuar la clasificación de los materiales entre: Directos e Indirectos.

Materiales directos (MPD).

Son aquellos productos naturales o previamente procesados que servirán para elaborar otros productos o servicios con características pocas o muy distintas al de los materiales utilizados.

Tienen 3 características importantes que le dan la categoría de directa:

1. Identidad plena, es decir rastreables y de fácil identificación.
2. Cantidad de materiales representativa, respecto a otros insumos en relación directa con el tipo de producto.
3. Precio significativo, respecto a los otros materiales [27].

Materiales indirectos (MPI).

Son aquellos productos naturales o previamente procesados que servirán para complementar convenientemente la elaboración de artículos terminados.

Se los reconoce cuando una o más asignadas a los MPD no se cumplen [27].

6.1.2.3 Costos de construcción.

6.1.2.3.1 Costos de construcción propia.

En la Tabla 29 encontramos los valores asignados a cada ítem para la realización de la construcción del sistema de extracción que diseñamos.

Tabla 29. Costos de construcción propia. Fuente: Autores.

Tubería rígida			
Descripción	Cantidad	Precio unit (\$)	Total (\$)
Tubería diámetro mayor a 4"	165	6,8	1122
Tubería 1"	1	8,85	8,85
Tubería 1,5"	5	10,86	54,3
Tubería 2"	1	17,1	17,1
Tubería 2,5"	3	22,25	66,75
Codos menores a 4"	10	3,5	35
Válvulas mariposa	15	8	120
Tubería flexible			
Tubo 1"	2	4,1	8,2
Tubo 1,5"	17	5,54	94,18
Tubo 2"	1	7,32	7,32
Tubo 2,5"	5	8	40
Tubo 4"	3	17,07	51,21
Tubo 5"	2	22,94	45,88
Tubo 6"	3	32,41	97,23
Abrazadera 1"	2	3,61	7,22
Abrazadera 1,5"	2	3,61	7,22
Abrazadera 2"	2	3,61	7,22
Abrazadera 2,5"	2	3,61	7,22
Abrazadera 4"	2	4,13	8,26
Abrazadera 5"	2	4,13	8,26
Abrazadera 6"	2	5,86	11,72
Aspirador			
MTGR 560	1	11500	11500
Ciclón			
Ø 0,66 m Altura 2,64m	1	672	672
Silo			
Ø 1,2 m Altura 1,3m	1	672	672
Estructura ciclón, silo			
Acero estructural a36	3200	2	6400
Instalación eléctrica			
Motor, tablero control	1	1000	1000
Instalación			
Andamios	2	50	100
Tecles	1	150	150
Soldadora	8	5	40
Mano de obra			

Ayudante 3 persona	32	2,5	80
Soldador 1 persona	32	5	160
Diseño	1	2873,81	2873,81
Técnico instalación ciclón	6	10	60
Ayudante técnico	6	2,5	15
Imprevistos			
Valor 5% de materiales	1	148,9	148,9
Herramientas			
Uso de herramientas	1	69,4	69,4
		TOTAL	25766,25

Realizando la construcción propia del sistema de extracción tiene un valor total de 25766,25 dólares.

Los valores de las cotizaciones se encuentran en los Anexos A1.

6.1.2.3.2 Costos de construcción “El Micrómetro”.

En la Tabla 30 encontramos los valores asignados a cada ítem para la realización de la construcción del sistema de extracción de la empresa el Micrómetro.

Tabla 30. Costos de construcción El Micrómetro. Fuente: Autores.

Tubería de transporte			
Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total (\$)
Tubería rolado en 0,9mm espesor	1	2100	2100
accesorios	44	42	1848
Aspirador			
Aspirador residuos	1	3600	3600
Ciclón y silo			
Ø 0.77m Altura 4m	1	1100	1100
Circuito eléctrico			
Tablero de control Variador frecuencia Paros de emergencia	1	2463	2463
Instalación			
Instalación del equipo	3500	1,75	6125
		TOTAL	17236

La construcción en la empresa EL MICROMETRO tiene un valor total de 17236 dólares, puede existir una diferencia en el costo total debido a que el rubro de accesorios puede variar dependiendo el diámetro de los mismos y el valor de instalación es de un peso aproximado de 3500 kg y este puede variar en la instalación real.

Los valores de cotización se encuentran en el Anexo A2.

6.1.2.3.3 Costos de construcción “Electro Refrigeración”.

En la Tabla 31 encontramos los valores asignados a cada ítem para la realización de la construcción del sistema de extracción de la empresa electro refrigeración.

Tabla 31. Costos de construcción Electro Refrigeración. Fuente: Autores.

Ducteria			
Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total (\$)
Tubería rolado en 0,9mm espesor	1	7886,25	7886,25
Tubería flexible	1	401,14	401,14
Aspirador			
Turbina	1	2060,8	2060,8
Motor 15 hp	1	957,6	957,6
Ciclón y silo			
Ciclón	1	1560,34	1560,34
Silo	1	1928,25	1928,25
Circuito eléctrico			
Conexión eléctrica	1	1600	1600
Instalación			
Instalación del equipo	1	1050	1050
Puesta en marcha	1	720	720
Insumos	1	400	400
Herramientas	1	75	75
Acople mecánico del motor	1	1200	1200
TOTAL			19839,38

El valor total de construcción en la empresa ELECTRO REFRIGERACION es de 19839,38 dólares.

Los valores de cotización que se nos entregó en Electro Refrigeración no son formales y se encuentran en el Anexo A3.

6.1.2.4 Comparación de costos.

En la Tabla 32 se observa un resumen de las características de cada uno de los sistemas de extracción diseñados y los valores totales.

Tabla 32. Comparación de costos. Fuente Autores.

Comparación de costos			
	Construcción propia	El Micrómetro	Electro refrigeración
Valor total (\$)	25766,25	17236	19839,38
Detalle		Valor de los dampers pueden variar dependiendo el diámetro. Valor de instalación aproximado 3500kg puede variar	Valores en tubería es aproximado pueden variar en la instalación real
Aspirador	15 HP	15 HP	15 HP
Ciclón	Ø= 0,66 m altura 2,64m	Ø= 0.77m altura 4m	Ø=0.8m altura 2,5m
Silo	Ø= 1,2 m altura 1,3m	Incluido en el ciclón	Ø= 1,2 m altura 1,5m
Conexión eléctrica	Motor trifásico 220v	Motor trifásico 220v	Motor trifásico 220v
Tiempo de entrega	35 días laborables	35 días laborables	30 días laborables
Garantía	1 año	1 año	1 año

6.1.3 Análisis de costos.

Al tener 3 alternativas en precios de construcción con similares características técnicas, tiempos de entrega y garantía, al no poder ponderar la calidad de los equipos y tecnología usada para la fabricación de los elementos que intervienen dentro del sistema de extracción de polvo y viruta de madera se considera el valor monetario de fabricación como punto determinante para una posible construcción.

6.1.3.3.1 Selección de la mejor oferta.

El criterio predominante para la selección de una de las opciones es la de menor precio en la construcción el sistema de extracción, dado que tienen similares características en cuanto a dimensiones, tiempos de entrega y garantía.

Basados en el valor total de construcción, se toma como mejor opción a la empresa EL MICROMETRO, la cual tiene el menor valor de construcción con un valor de 17236 dólares americanos.

CONCLUSIONES

- La inclusión de sistemas de extracción de polvo, son de gran importancia en la industria maderera, debido a que estos sistemas ayudan a prevenir enfermedades a los trabajadores, mejoran la calidad del ambiente de trabajo y alargan la vida útil de las maquinas requiriendo menores tiempos de mantenimiento.
- Dentro de los sistemas de extracción de polvo la tecnología adecuada para la carpintería del Proyecto PACES es la localizada, utilizando el ciclón como elemento separador de partículas, debido a que es un sistema de relativamente bajo costo en comparación a otras tecnologías, además que presenta una eficiencia dl ciclón alcanzando en partículas de PM 2,5 una eficiencia del 70%.
- El diseño de la red de tubería es de vital importancia en un proyecto de esta naturaleza, debido a que de ello dependerá la cantidad de tubería utilizada y por ende modificará las pérdidas, influyendo en un sobredimensionado del sistema de aspiración, concluyendo en costes del sistema y gastos energéticos mayores.
- Aprovechando la infraestructura del taller, la altura propuesta de 3,25 metros es la más idónea debido a que esta altura el taller cuenta con una estructura metálica horizontal a dicha altura, con la que se aprovechase para la sujeción de la tubería.
- Las válvulas de mariposas o Dampers mejoraran la eficiencia del sistema, aspirando los ductos de la maquinaria en funcionamiento en un tiempo dado.
- Para la determinar el valor de la densidad del fluido que se consideró para la construcción del modelo de simulación se recurrió s establecer un porcentaje de sólidos en suspensión que elevo en un 70% aproximadamente la densidad del aire.
- El valor de densidad de $1,57 \text{ kg/m}^3$, se lo ha verificado en el modelo debido que al incrementar esta cifra en la simulación considera un fluido viscoso y al disminuir de $1,21 \text{ kg/m}^3$, considera aire puro.
- Las cotizaciones están establecidas de dos maneras, tubería menor a cuatro pulgadas serian adquiridas bajo tubería y accesorios normalizada y las mayores a cuatro pulgadas serán roladas en planchas de 0,9 mm de espesor al igual que sus respectivos accesorios.

RECOMENDACIONES

- A más de esto, una limpieza continua de los puestos de trabajo y la utilización de EPP (Equipo de Protección Personal) disminuirán el riesgo de enfermedades a los trabajadores.
- Con la construcción de una cabina de lacado se aislaría el polvo presente en el ambiente de los materiales a lacar, para que no se perjudiquen en el proceso.

TRABAJOS FUTUROS

- Un proyecto interesante que resulta a partir del presente trabajo, es buscar los parámetros necesarios que inciden en el comportamiento de las partículas al momento de la captación dentro de la simulación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de la Presidencia, «BOE-A-2003-6934», *Agencia estatal. España*, 2003. [En línea]. Disponible en: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-6934>. [Accedido: 06-jun-2018].
- [2] Alejandro, «Tableros Rechapados: Ventajas y Usos», *Maderas Santana*, 16-jul-2015.
- [3] S. Escoda, "*Manual Práctico De Ventilación*", Segunda Edición. Barcelona, España, 2009.
- [4] Instituto Nacional Del Cáncer, «Polvo De Madera», *National Cancer Institute*. [En línea]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/polvo-de-madera>. [Accedido: 06-jun-2018].
- [5] G. Randal V. "*Mecánica De Fluidos e Hidráulica*". McGraw Hill, 2013.
- [6] Stem, «Extracción de Vapores Aspirador Móvil - STEM Servicios Técnicos y Equipamientos para Museos», *Extracción de vapores aspirador móvil*. [En línea]. Disponible en: <http://www.stem-museos.com/es/productos/seguridad-y-proteccion/extraccion-de-vapores-aspirador-movil>. [Accedido: 30-may-2018].
- [7] Soler & Palau, "*Manual Práctico de Ventilación*", Ventilation Group. 2013.
- [8] W. Estupiñan, «Sistema De Extracción De Partículas De Madera (Viruta, Aserrín, Etc.)», 2011.
- [9] Iván Bonilla i-cognodifusion, «Sistemas de Ventilación Mecánica». [En línea]. Disponible en: http://abaco.com.co/ventilacion_mecanica.html. [Accedido: 30-may-2018].
- [10] R. Goberna, "*Ventilación Industrial*", Primera edición. España: GENERALITAT VALENCIANA.
- [11] SatirNet Safety, «Métodos De Actuación Sobre El Medio De Propagación», 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.satirnet.com/satirnet/2015/01/21/metodos-de-actuacion-sobre-el-medio-de-pro-pagacion/>. [Accedido: 30-may-2018].
- [12] M. Dolores Fierro Gonzáles, «Dimensionamiento De Un Sistema De Depuración De Aire Para Eliminar La Materia Particulado Producida En Un Aserradero», Cádiz, España, 2004.
- [13] G. Pérez López, «Ventilación Por Extracción Localizada, VEL». Servicio de higiene industrial y salud laboral, 2009.
- [14] X. Guardino y C. Heras, «Extracción Localizada En El Laboratorio», 2004. [En línea]. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_672.pdf. [Accedido: 07-jun-2018].
- [15] Soler & Palau, «Hojas Técnicas Campanas de Extracción». [En línea]. Disponible en: <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-campanas-de-extraccion/>. [Accedido: 30-may-2018].
- [16] R. Committee on Industrial Ventilation ACGIH, "*ACGIH: Industrial Ventilation Manual*", 23ª Edición. Ohio -USA, 1998.
- [17] Estructplan, «Riesgos en Máquinas, Equipos e Instalaciones», 2003. [En línea]. Disponible en:

- <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=369>.
[Accedido: 08-nov-2017].
- [18] H. E. Carrillo Alvares, «Diseño Y Cálculo De Un Sistema De Extracción Localizada De Humos Metálicos Y Gases Provenientes Del Proceso De Soldadura», Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil- Ecuador, 2011.
- [19] C. Echeverri, «Principio De Funcionamiento - Ciclones», 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.mailxmail.com/curso-ciclones/principio-funcionamiento>. [Accedido: 07-jun-2018].
- [20] C. Aguilar, «Curso: Elementos De Elevación Y Transporte», 2016.
- [21] TECNOVAPOR, «Ventiladores Axiales». [En línea]. Disponible en: <http://www.tecnovapor.com.ec/axiales.html>. [Accedido: 31-may-2018].
- [22] J. P. Niveló Chalco y J. E. Ugalde Pacheco, y N. G. Jara Cobos, «Diseño De Un Sistema De Extracción De Polvo Para La Empresa INSOMET (división TELARTEC, productora de telas de poli-algodón); perteneciente al Grupo Empresarial Gerardo Ortiz Cía. Ltda.», B.S. thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca Ecuador, 2011.
- [23] C. O. Sáenz Carrera, «Diseño Y Construcción De Un Sistema De Extracción De Viruta Controlado Para La Industria “Maderas Equinoccio MADEQUISA Cía. Ltda.”», Escuela Politécnica del ejército, Latacunga Ecuador, 2009.
- [24] «Casals Ventilación - Fabricante de Sistemas de Ventilación». [En línea]. Disponible en: <https://www.casals.com/es>. [Accedido: 07-jun-2018].
- [25] C. D. Bravo Almeida y S. A. Vázquez Farfán, «Diseño y Construcción Del Sistema Optimo para la Micro Pulverización de Bentonita Sódica en la Empresa “MINMETEC”», Politécnica Salesiana, Cuenca Ecuador, 2009.
- [26] A. Olivares Pinto, «Combustión de biomasas para generación térmica», presentado en TRAN SA., España, 2016.
- [27] Pedro Zapatan Sánchez, *Contabilidad de Costos*, 2.^a ed. México: Alfaomega.

ANEXOS

Anexo A1.

<p>COMERCIAL CHAVEZ CUNALATA CH.C. CIA. LTDA. RUC.: 0190150364001</p>		<p>Av. España 4-16 y Madrid * Cuenca - Ecuador Tel: 593 -72867106 Telefax: 2868480 * 2864641 chventas@gmail.com</p> <p style="text-align: center; font-size: small;">WWW.CHCHANGUERASHTIDRAULICAS.COM</p>
--	---	---

PROFORMA N° 6800

Fecha de Emisión:	CUENCA, 28 DE ABRIL DE 2018
Señores:	EMURPLAG
Atentamente:	SR. JONATHAN ULLOA MANTENIMIENTO

DESCRIPCIÓN	CANT.	P. UNIT.	P. TOTAL
MANGUERA PLASTICA FLEXIBLE TIPO DUCTO DE 1 1/2"	1,00	3,34	3,34
MANGUERA PLASTICA FLEXIBLE TIPO DUCTO DE 2"	1,00	7,32	7,32
MANGUERA PLASTICA FLEXIBLE TIPO DUCTO DE 2 1/2"	1,00	8,00	8,00
MANGUERA PLASTICA FLEXIBLE TIPO DUCTO DE 4"	1,00	17,07	17,07
MANGUERA PLASTICA FLEXIBLE TIPO DUCTO DE 5"	1,00	22,94	22,94
MANGUERA PLASTICA FLEXIBLE TIPO DUCTO DE 6"	1,00	32,41	32,41
MANGUERA PLASTICA FLEXIBLE TIPO TIGERFLEX DE 1" VERDE	1,00	4,10	4,10
ABRAZADERA DE PERNO TIPO T-303 COVALCA 1"	1,00	3,61	3,61
ABRAZADERA DE PERNO TIPO T-307 COVALCA 1 1/2"	1,00	3,61	3,61
ABRAZADERA DE PERNO TIPO T-308 COVALCA 2"	1,00	3,61	3,61
ABRAZADERA DE PERNO TIPO T-311 COVALCA 2 1/2"	1,00	3,61	3,61
ABRAZADERA DE PERNO TIPO T-317 COVALCA 4"	1,00	4,13	4,13
ABRAZADERA DE PERNO TIPO T-321 COVALCA 5"	1,00	4,13	4,13
ABRAZADERA DE PERNO TIPO T-324 COVALCA 6"	1,00	3,86	3,86
Por la atención favorable que dará a la presente, me anticipo en agradecerle. <div style="text-align: center; margin-top: 5px;">  AUTORIZADO Atentamente, Ch.C. Cia. Ltda. </div>	VALIDEZ PROFORMA: 15 DIAS TIEMPO DE ENTREGA: INMEDIATO FORMA DE PAGO: CREDITO	VALOR NETO DESCUENTO 0% SUB TOTAL + I.V.A. 12% VALOR TOTAL	125,94 - 125,94 15,11 141,05
NOTA: El valor del transporte por el envío del pedido a otras ciudades será facturado aparte del valor total del la proforma.			

Anexo A2.



Cuenca, 23 de Abril de 2018.

ESTIMADOS INGENIEROS

De acuerdo a su requerimiento le hacemos llegar la siguiente propuesta del equipo

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	ASPIRADOR DE RESIDUOS DE MADERA
CARACTERISTICAS TECNICAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Carcasa metálica en acero A-36 • Turbina de acero • Montado sobre rodamientos • Desmultiplicación por poleas • Trasmisión por bandas • Tensor del motor • Obturador de regulación de caudal de aire • Acople mecánico al motor • Motor eléctrico trifásico de 15 Hp 	
PRECIO EN MI TALLER	
\$3600,00	

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1 metros	TUBERIAS TRANSPORTE
CARACTERISTICAS TECNICAS	
<ul style="list-style-type: none"> • Construidas en plancha galvanizada de 0,9 mm de espesor • Roladas de acuerdo al diámetro de la tubería • Cada sección de tubería tiene abrazaderas a los extremos para fácil acople • Empaque en cada unión de las distintas tuberías. • Pernos de unión de acero Inoxidable AISI 304 	
PRECIO EN MI TALLER	
\$ 2100,00	



VENDEMOS SOLUCIONES Y ESTAMOS AL SERVICIO DE TU PRODUCCIÓN



EL MICROMETRO

CONSTRUCCIÓN Y REPARACIÓN DE MAQUINARIA INDUSTRIAL
 AV. EL SILVAN 1-69 ENTRE CALLE VIEJA Y LAS LADERAS
 TEL: 4000030
 CELU: 099 5720431
 Mail: ronaldvdact@yahoo.com

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
	CONSTRUCCION DE ACCESORIOS
	CARACTERISTICAS TECNICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Codos a 90 • Bifurcación de 30, 45, 60 grados • Válvulas de mariposa
	PRECIO EN MI TALLER POR UNIDAD \$ 42

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	CICLÓN DE RECOLECCION
	CARACTERISTICAS TECNICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 0.77 mts de diámetro x 4 mts de alto • Construido en tol de 3mm de espesor • Cámara y ducto de ingreso del material desde el aspirador • Tubería de salida del aire • Válvula reguladora de salida del material • Sistema anti retorno • Montado sobre estructura metálica
	PRECIO EN MI TALLER \$ 1100,00

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	CIRCUITOS ELECTRICO
	CARACTERISTICAS TECNICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de protección del motor trifásico de 15 Hp • Variador de frecuencia • 4 pulsantes de paros de emergencia • Cableado desde el tablero general




VENDEMOS SOLUCIONES Y ESTAMOS AL SERVICIO DE TU PRODUCCION



EL MICROMETRO

CONSTRUCCIÓN Y REPARACIÓN DE MAQUINARIA INDUSTRIAL

AV. EL SILVAN 1-69 ENTRE CALLE VIEJA Y LAS LADERAS

Mail: ronaldvdadiv@yahoo.com

TELF: 4099830
 CELU: 098 67 20 43 1

PRECIO EN MI TALLER	\$ 2463,00
----------------------------	-------------------

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	INSTALACION DEL EQUIPO
	CARACTERISTICAS TECNICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de vigas y columnas en acero A36 • Instalación de las bases con St 37 para las columnas • Montaje de vigas y columnas • Soldadas con MIG • Pintado con pintura anticorrosiva.
	PRECIO POR CADA KILOGRAMO INSTALADO
	PESO APROXIMADO DE LA INSTALACION
	\$ 1,75
	3500 Kg

FORMA DE PAGO:	75% a la firma del contrato 25 % a la entrega del equipo
TIEMPO DE ENTREGA:	35 días laborables
VALIDEZ DE LA OFERTA:	30 días.
GARANTIA:	1 año
I.V.A	Tarifa cero.

Nota:

- La planta debe contar con tomas de corriente eléctrica de 220 V
- Al momento de proceder a instalar el equipo se necesita que la planta no esté produciendo
- El material a utilizar son perfiles de acero A36 con lo cual se ahorra material, baja el costo, y aumenta significativamente la resistencia
- El precio de las válvulas de mariposa varían de acuerdo a las dimensiones.



VENDEMOS SOLUCIONES Y ESTAMOS AL SERVICIO DE TU PRODUCCION



EL MICROMETRO
CONSTRUCCIÓN Y REPARACIÓN DE MAQUINARIA INDUSTRIAL
AV. EL SILVAN 1-69 ENTRE CALLE VIEJA Y LAS LADERAS
TEL: 409830
CEL: 099 67 20 431
Mail: ronaldvladch@yahoo.com

Atentamente y siempre a las órdenes para cualquier consulta, inquietud o sugerencia



Ing. Mec. Ronald Vladimir Angüisaca Sarmiento.
Gerente Producción
Talleres "El Micrómetro"

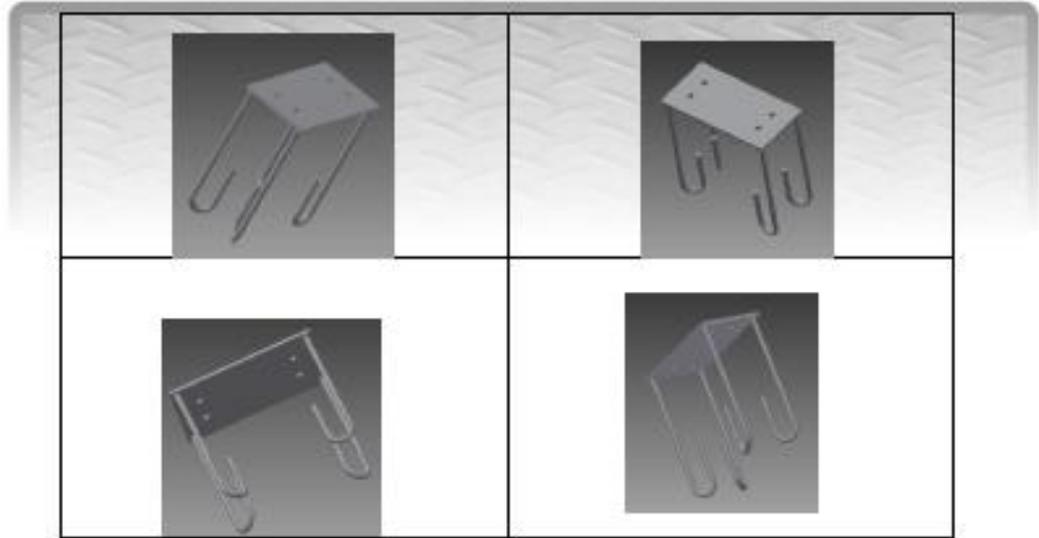
Email: el micrometro@yahoo.com

ESQUEMA DE LAS PLACAS A CONSTRUIR



VENDEMOS SOLUCIONES Y ESTAMOS AL SERVICIO DE TU PRODUCCIÓN

 **EL MICROMETRO**
CONSTRUCCIÓN Y REPARACIÓN DE MAQUINARIA INDUSTRIAL
AV. EL SILVAN 1-69 ENTRE CALLE VIEJA Y LAS LADERAS
TEL: 406630
CEL: 099 87 80431
Mail: conalvict@yahoo.com



**VENCOR SOLUCIONES Y ESTADOS AL SERVICIO DE TU PRODUCCION**

Anexo A3.

Tubería rolada en 0,9		
Diámetro (plg)	longitud (m)	Cant. Planchas
1	3,041	0,5
1,5	31,258	0,25
2	7,848	0,25
2,5	14,331	0,5
4	10,081	1
4,5	0,739	0,5
5	6,19	2
6	17,742	9
7	4,409	2
9	3,298	3
10	1,312	0,5
11	1,866	1
13	2,75	0,5
Accesorios		1
	total planchas	22

costo x kg	peso total	total (\$)
	15	525,75
		7886,25
		turbina
precio	IVA (12%)	total (\$)
1840	220,8	2060,8
		Ciclón
		1928,25