

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de  
producción

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Bryan Alfonso Quinde Cadena

Ricardo Andrés Fierro Peralta

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres Edgar y Yorka por guiarme en cada paso que doy, a mis hermanos Derek y Sebastián por motivarme con su alegría a ser mejor persona cada día, a mis mascotas por acompañarme durante este proceso y finalmente a la ESPOL por abrirme sus puertas y brindarme los conocimientos para ser un gran profesional. *Bryan Quinde.*

Este trabajo, que representa la culminación de la mejor etapa de mi vida, se la dedico de corazón a los tres pilares de mi vida. Joan, Susy y Michelle. Y con mucho cariño desde el cielo, a Cristóbal. Además, a cada uno de los profesores que tuve en mi carrera, en especial al Ing. Jonathan León y al Ing. Jorge Marcial. Y a mi amada ESPOL. *Ricardo Fierro.*

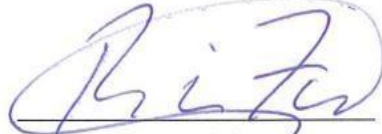
## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Mario Patiño por sus consejos y su ayuda con el préstamo del equipo de muestreo, al Ing. Gonzalo Zabala por sus invaluable consejos y valiosa ayuda en la realización del diseño, al Ing. Rigoberto Angulo por guiarnos en el manejo del equipo de muestreo, al Ing. Daniel Falquez del Laboratorio de Geotécnica y Construcción de la FICT por permitirnos el uso de sus equipos, al Sr. Humberto Jiménez por ayudar en la gestión del préstamo del equipo de muestreo y al personal del área de producción por compartir con nosotros sus experiencias.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Bryan Alfonso Quinde Cadena* y *Ricardo Andrés Fierro Peralta* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

  
Bryan Alfonso Quinde  
Cadena

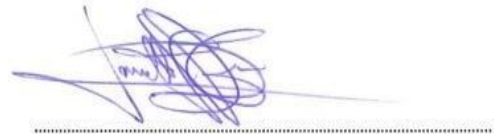
  
Ricardo Andrés Fierro  
Peralta

## EVALUADORES



**M. Sc. Jorge Marcial Hernández**

PROFESOR DE LA MATERIA



**M. Sc. Jonathan León Torres**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Este proyecto consiste en el diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de producción de una empresa maderera donde se desea reducir la concentración de polvo producto del corte y cepillado de madera. Debido al exceso de polvo, es probable que se excedan los límites de concentración de material particulado permitidos, siendo un riesgo para la salud de sus empleados. Se realizaron mediciones de la concentración de material particulado de entre 2.5 y 10  $\mu\text{m}$  en la zona para compararlos con los recomendados por la OSHA. Se diseñó un sistema de ductos en base a los manuales de diseño de la ACGIH y la ASHRAE. Se diseñó un ciclón de alta eficiencia y una tolva de almacenamiento. La estructura de soporte se diseñó en base a normativa de la AISC. Se mostraron niveles de 8 y 12  $\text{mg}/\text{m}^3$  de partículas de 10 y 2.5  $\mu\text{m}$ , respectivamente, que superan el límite recomendado de 5  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Los resultados del diseño del ciclón reflejan una eficiencia del 91% mientras que la tolva alcanza una capacidad de 6.5  $\text{m}^3$  con una descarga de 660  $\text{kg}/\text{s}$ . Se concluye que, aplicado este sistema, las concentraciones de partículas de 10 y 2.5  $\mu\text{m}$  se reducen en 0.8 y 1.1  $\text{mg}/\text{m}^3$ , respectivamente, mejorando la calidad de aire y evitando enfermedades laborales a largo plazo. Además, debido a la rapidez de descarga de la tolva y su capacidad, se mejora en un 73% los tiempos no productivos de limpieza al día.

**Palabras Clave:** Material particulado, concentración de partículas, filtrado de aire, calidad de aire, polvo de madera.

## **ABSTRACT**

*This project consists of the design of a particulate matter extraction system in the production area of a lumber company where it is desired to reduce the concentration of dust from wood cutting and planing. Due to excess dust, it is likely that the permitted limits of concentration of particulate matter will be exceeded, being a risk to the health of your employees. Measurements of particulate matter concentration between 2.5 and 10  $\mu\text{m}$  in the area were made to compare with those recommended by OSHA. A pipeline system was designed based on the ACGIH and ASHRAE design manuals. A high-efficiency cyclone and storage hopper were designed. The support structure was designed based on AISC regulations. Levels of 8 and 12  $\text{mg} / \text{m}^3$  of particles of 10 and 2.5  $\mu\text{m}$ , respectively, were shown that exceed the recommended limit of 5  $\text{mg} / \text{m}^3$ . The results of the cyclone design reflect an efficiency of 91% while the hopper reaches a capacity of 6.5  $\text{m}^3$  with a discharge of 660  $\text{kg} / \text{s}$ . It is concluded that, applied this system, the concentrations of particles of 10 and 2.5  $\mu\text{m}$  are reduced by 0.8 and 1.1  $\text{mg} / \text{m}^3$ , respectively, improving air quality and avoiding long-term occupational diseases. Furthermore, due to the speed of the hopper unloading and its capacity, non-productive cleaning times per day are improved by 73%.*

**Keywords:** *Particulate matter, particle concentration, air filtration, air quality, wood dust.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
ÍNDICE DE PLANOS.....	XVI
CAPÍTULO 1 .....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación del problema .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico .....	4
1.4.1 Industria de la madera en el Ecuador .....	4
1.4.2 Equipos utilizados en construcción maderera .....	6
1.4.3 Efectos adversos sobre la salud producidos por la inhalación de polvo de madera .....	10
1.4.4 Niveles permisibles de material particulado suspendido en el aire.....	11
1.4.5 Benchmarking.....	11
CAPÍTULO 2 .....	13
2. Metodología.....	13
2.1 Alternativas de diseño .....	13
2.1.1 Descripción de las alternativas de diseño para cada proceso crítico.....	13
2.1.1.1 Captación del material particulado desde la fuente .....	13



2.1.1.2	Filtrado del aire contaminado .....	15
2.1.1.3	Almacenamiento del material particulado .....	18
2.1.2	Selección de las alternativas de selección para cada proceso crítico .....	20
2.1.2.1	Captación del material particulado desde la fuente .....	21
2.1.2.2	Filtrado del aire contaminado .....	21
2.1.2.3	Almacenamiento del material particulado .....	22
2.2	Proceso de diseño.....	22
2.3	Determinación de parámetros experimentales .....	24
2.3.1	Concentración de material particulado en el taller.....	24
2.3.2	Determinación de las propiedades y características de polvo y viruta de madera .....	25
2.3.2.1	Análisis granulométrico .....	25
2.3.2.2	Análisis estadístico de caracterización de muestra .....	26
2.3.2.3	Determinación de densidad aparente de las muestras .....	26
2.4	Diseño de los elementos del sistema .....	27
2.4.1	Esquema de los elementos del sistema.....	27
2.4.2	Caudales de extracción .....	27
2.4.3	Succión en las máquinas .....	28
2.4.4	Guarda para las máquinas.....	28
2.4.5	Sistema de ductos .....	29
2.4.5.1	Diámetro de cada sección .....	29
2.4.5.2	Pérdidas de presión por fricción en los ductos .....	29
2.4.6	Pérdidas de presión por accesorios .....	31
2.4.7	Diseño del ciclón.....	32
2.4.7.1	Dimensiones del ciclón .....	32
2.4.7.2	Caída de presión .....	33
2.4.7.3	Velocidad máxima tangencial .....	34

2.4.7.4 Longitud del núcleo .....	34
2.4.7.1 Eficiencia del ciclón .....	34
2.4.8 Selección del ventilador .....	35
2.4.9 Diseño de la tolva .....	36
2.4.9.1 Dimensiones de la tolva .....	36
2.4.9.2 Espesor de pared de tolva.....	39
2.4.9.3 Capacidad de tolva.....	40
2.4.9.4 Tasa de descarga de tolva .....	40
2.4.10 Diseño de plataforma de ventilador y de torre de ciclón-tolva .....	40
2.4.10.1 Diseño de columnas por pandeo .....	41
2.4.10.2 Diseño de vigas por flexión.....	41
2.4.11 Selección de los accesorios adicionales .....	42
2.4.11.1 Compuertas de explosión .....	42
2.4.11.2 Agarraderas.....	42
2.4.11.3 Soportes.....	42
CAPÍTULO 3.....	43
3. Resultados y análisis.....	43
3.1 Caracterización del material particulado.....	43
3.2 Análisis de curva granulométrica del material particulado .....	43
3.3 Análisis estadístico de datos de muestra de material particulado.....	44
3.4 Niveles de concentración de material particulado PM2.5 y PM10 .....	45
3.5 Densidad de la muestra .....	45
3.6 Caudales de extracción .....	46
3.7 Succión en las máquinas.....	46
3.8 Guarda para las máquinas .....	48
3.9 Sistema de ductos.....	48
3.10 Pérdidas de presión por fricción en los ductos .....	48

3.11	Pérdidas de presión en los accesorios .....	48
3.12	Diseño del ciclón .....	48
3.12.1	Dimensiones del ciclón .....	48
3.12.2	Caída de presión en el ciclón.....	49
3.12.3	Velocidad máxima tangencial .....	49
3.12.4	Longitud del núcleo.....	49
3.12.5	Eficiencia del ciclón .....	49
3.12.6	Concentración de material particulado remanente .....	51
3.13	Selección del ventilador .....	51
3.14	Diseño de tolva de almacenamiento.....	51
3.14.1	Dimensiones de la tolva.....	51
3.14.2	Espesor de pared de tolva .....	56
3.14.3	Capacidad de tolva .....	57
3.14.4	Tasa de descarga de tolva.....	58
3.15	Diseño de plataforma de ventilador y de torre de ciclón-tolva.....	58
3.16	Análisis de tiempos no productivos de limpieza.....	60
3.17	Análisis de costos.....	61
3.18	Validación de resultados .....	63
3.18.1	Concentración de material particulado.....	63
3.18.2	Sistema de ductos .....	65
3.18.3	Ciclón .....	66
CAPÍTULO 4.....		69
4.	Conclusiones Y Recomendaciones .....	69
4.1	Conclusiones.....	69
4.2	Recomendaciones.....	70

## BIBLIOGRAFÍA

## APÉNDICES

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
FICT	Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
ASTM	American Society for Testing and Materials
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienist
ASHRAE	American Society of Heating and Ventilating Engineers
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
SPOT	Síndrome de polvo orgánico tóxico
TLV	Threshold Limit Value
TWA	Time Weighted Average
STEL	Short Term Exposure Limit
MP	Material particulado
N/A	No aplica
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
MEM	Micro Environmental Monitor
PM10	Partícula de tamaño 10 micras
PM2.5	Partícula de tamaño 2.5 micras
CAS	Esfuerzo de cizalla interno del material
MFF	Función de flujo de material
1/ff	Función factor de flujo del sistema

## SIMBOLOGÍA

Kg	Kilogramo
g	Gramo
mg	Miligramo
m	Metro
mm	Milímetro
$\Delta X_i$	Fracción en peso retenida
$X_i$	Fracción acumulativa cernida
$Y_i$	Fracción acumulativa retenida
$\bar{X}$	Media de la variable aleatoria $X_i$
$\mu_3$	Tercer momento de $X_i$ con respecto a $\bar{X}$ .
$n$	Número de datos.
$f_i$	Frecuencia del dato i-esimo.
$s$	Desviación estándar de la distribución.
$\mu_4$	Cuarto momento de $X_i$ con respecto a $\bar{X}$ .
$\alpha_4$	Coeficiente de curtosis.
$\rho_{muestra}$	Densidad de la muestra
$m_{muestra}$	Masa de la muestra
$Vol_{muestra}$	Volumen de la muestra
$Q_{máquina}$	Caudal de máquina
$A_{ducto}$	Área de ducto
$V$	Velocidad del fluido
$Q_{ramal}$	Caudal del ramal
$\Delta P_f$	Caída de presión por fricción
$f'$	Factor de fricción primo
$f$	Factor de fricción
$L$	Longitud
$D_h$	Diámetro hidráulico
$P_{v-ducto}$	Presión de velocidad en los ductos
$\rho_g$	Densidad del gas

$\varepsilon$	Rugosidad
$Re$	Número de Reynolds
$\nu$	Viscosidad cinemática
$P_{v-ACGIH}$	Presión de velocidad según ACGIH
$\rho_{g-ingles}$	Densidad del gas en unidades inglesas
$V_{fpm}$	Velocidad del fluido en pies por minuto
$\Delta P_{acc}$	Caída de presión por accesorios
$K_{acc}$	Coefficiente de caída de presión
$P_{v-acc}$	Presión de velocidad en accesorios
$D$	Diámetro del ciclón
$a$	Alto de entrada del ciclón
$b$	Ancho de entrada del ciclón
$D_e$	Diámetro de escape del ciclón
$S$	Longitud de escape del ciclón
$h$	Longitud sección cilíndrica del ciclón
$H$	Longitud total del ciclón
$B$	Diámetro de descarga del ciclón
$\Delta H$	Número de cabezales de presión
$\Delta P_{ciclón}$	Caída de presión en el ciclón
$V_{in}$	Velocidad a la entrada del ciclón
$Q_t$	Caudal resultante de las máquinas
$C_I$	Factor de geometría adimensional
$V_{max}$	Velocidad máxima del fluido dentro del ciclón
$d_c$	Diámetro del núcleo
$Z_c$	Longitud del núcleo
$\mu$	Viscosidad dinámica del fluido
$\rho_p$	Densidad de partícula
$d_{50}$	Diámetro de corte
$C_\beta$	Coefficiente logarítmico de la geometría del ciclón
$\beta$	Pendiente logarítmica del ciclón
$\eta_d$	Eficiencia del ciclón

$\eta_{global}$	Eficiencia global del ciclón
$C_o$	Concentración inicial
$C_f$	Concentración final
$P_{fan}$	Presión a vencer por el ventilador
$f_c$	Esfuerzo de material no confinado
$\sigma_n$	Esfuerzo normal máximo
$\tan \delta$	Coefficiente de fricción de pared
$\delta$	Ángulo de fricción de pared
$D_d$	Diámetro de descarga mínimo
$\theta$	Ángulo de descarga mínimo
$h_o$	Altura de sección inferior
$P_V$	Esfuerzo debido al peso del material
$P_w$	Esfuerzo sobre las paredes de la tolva
$e_p$	Espesor de pared
$\sigma_f$	Esfuerzo de fluencia
$V_T$	Volumen de tolva
$M$	Capacidad de tolva
$\dot{m}$	Tasa de descarga de tolva
$C_c$	Relación de esbeltez
$E$	Módulo de Young
$L_e$	Longitud equivalente
$r_g$	Radio de giro
$\sigma_T$	Esfuerzo de trabajo
$\sigma_{pc}$	Esfuerzo de punto de cedencia
$FS$	Factor de seguridad
$P_c$	Carga crítica
$M_a$	Momento en el extremo izquierdo
$M_b$	Momento en el extremo derecho
$q$	Carga neta aplicada
$x_1$	Distancia del extremo izquierdo a la carga
$x_2$	Distancia del extremo derecho a la carga

$L_V$	Longitud de viga
$M_{m\acute{a}x}$	Momento máximo en los extremos
$S_{x,n}$	Módulo resistente necesario respecto al eje x-x
$S_x$	Módulo resistente respecto al eje x-x



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Industria maderera ecuatoriana y sus procesos. ....	5
Figura 1.2: Máquina sierra de mesa. ....	6
Figura 1.3: Máquina canteadora. ....	7
Figura 1.4: Máquina sierra múltiple. ....	8
Figura 1.5: Máquina cepilladora. ....	8
Figura 1.6: Máquina sierra péndulo. ....	9
Figura 1.7: Máquina pulidora de mesa. ....	9
Figura 2.1: Esquema de la alternativa 1 para la captación del MP desde la fuente. ....	14
Figura 2.2: Esquema de la alternativa 2 para la captación del MP desde la fuente. ....	14
Figura 2.3: Esquema de la alternativa 3 para la captación del MP desde la fuente. ....	15
Figura 2.4: Colector húmedo del tipo torre compactada. ....	16
Figura 2.5: Colector centrífugo seco "Ciclón". ....	17
Figura 2.6: Filtro de mangas con pulso jet reverso. ....	17
Figura 2.7: Componentes de un precipitador electrostático del tipo superficie plana. .	18
Figura 2.8: Esquema del barril de acero cubierto. ....	19
Figura 2.9: Esquema de la bolsa de tela colapsada. ....	19
Figura 2.10: Esquema de la bolsa desechable dentro de una caja. ....	20
Figura 2.11: Diagrama de flujo del proceso de diseño. ....	23
Figura 2.12: M400 MICRO-ENVIRONMENTAL MONITOR (MEMTM). ....	24
Figura 2.13: Tamizador Ro-Tap marca WS Tyler modelo RX-29. ....	25
Figura 2.14: Esquema de la interconexión entre los elementos del sistema. ....	27
Figura 2.15: Esquema de las campanas de extracción. ....	28
Figura 2.16: Esquema para determinar el caudal en una sección de las tuberías. ....	29
Figura 2.17: Dimensiones del ciclón. ....	32
Figura 2.18: Bound between Mass and Core Flow. ....	37
Figura 2.19: Verificación del factor de flujo aproximado. ....	38
Figura 3.1: Resultados del análisis granulométrico. ....	44
Figura 3.2: Representación de las dimensiones para la succión de las máquinas. ....	47
Figura 3.3 Eficiencia del ciclón vs tamaño de partícula. ....	50
Figura 3.4: Gráfico de Esfuerzo Crítico Aplicado para polvo de madera. ....	54
Figura 3.5: Gráfico de Esfuerzo Crítico Aplicado para viruta de madera. ....	54

Figura 3.6: Ubicación de los extractores portátiles en el taller. ....	62
Figura 3.7: Concentración de material particulado antes y después de un sistema de extracción. ....	63
Figura 3.8: Simulación de la velocidad a través del sistema de ductos. ....	65
Figura 3.9: Análisis del transporte de partículas a través de la zona crítica para distintos tamaños. ....	66
Figura 3.10: Tiempo de permanencia del material durante el filtrado para partículas de tamaño 4 mm. ....	66
Figura 3.11: Tiempo de permanencia del material durante el filtrado para partículas de tamaño 10 $\mu\text{m}$ . ....	67
Figura 3.12: Tiempo de permanencia del material durante el filtrado para partículas de tamaño 2.5 $\mu\text{m}$ . ....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Maquinaria para trabajar madera.....	6
Tabla 1.2: Características de diseño y costos de los proyectos analizados.....	12
Tabla 2.1: Matriz de decisión para la selección del sistema de captación de material particulado. ....	21
Tabla 2.2: Matriz de decisión para la selección del sistema de filtrado del aire. ....	21
Tabla 2.3: Matriz de decisión para la selección del almacenamiento del material particulado. ....	22
Tabla 2.4: Rugosidad absoluta para distintos materiales.....	31
Tabla 2.5: Relaciones para las dimensiones del ciclón para diferentes condiciones de trabajo. ....	33
Tabla 2.6: Ángulos de fricción y rangos de presión. ....	37
Tabla 3.1: Caracterización de material particulado.....	43
Tabla 3.2: Tercer y cuarto momento de Xi con respecto a X con su frecuencia. ....	44
Tabla 3.3: Número de datos, desviación estándar, coeficiente de asimetría y de apuntamiento. ....	44
Tabla 3.4: Densidad aparente de la muestra para cada clasificación. ....	45
Tabla 3.5 Caudales de extracción para cada máquina del taller.....	46
Tabla 3.6: Valores para las dimensiones de las succiones en cada máquina.....	47
Tabla 3.7: Dimensiones del ciclón.....	49
Tabla 3.8 Eficiencias fraccional del ciclón en función del tamaño de partícula. ....	51
Tabla 3.9: Resultados de ángulo de fricción de pared y ángulo de descarga mínimo...	52
Tabla 3.10: Factores de flujo de polvo y viruta. ....	52
Tabla 3.11: Función de flujo de material y Función factor de flujo del sistema para polvo y viruta. ....	53
Tabla 3.12: Esfuerzo Crítico Aplicado (CAS) para polvo y viruta de madera. ....	55
Tabla 3.13: Diámetros de descarga mínimo. ....	55
Tabla 3.14: Dimensiones de tolva. ....	56
Tabla 3.15: Cálculos de esfuerzos en la tolva. ....	56
Tabla 3.16: Espesor de plancha de tolva.....	57
Tabla 3.17: Capacidad de tolva. ....	57
Tabla 3.18: Tasa de descarga de tolva. ....	58
Tabla 3.19: Detalle de cargas en columnas de cada estructura. ....	58

Tabla 3.20: Selección de perfil para columnas de plataforma de ventilador. ....	59
Tabla 3.21: Selección de perfil para columnas de torre de ciclón-tolva. ....	59
Tabla 3.22: Detalle de cargas en vigas de cada estructura. ....	59
Tabla 3.23: Selección de perfil para vigas de plataforma de ventilador. ....	60
Tabla 3.24: Selección de perfil para vigas de torre de ciclón-tolva. ....	60
Tabla 3.25: Resultados del análisis de tiempos no productivos por limpieza de máquinas. .....	61
Tabla 3.26: Costos relacionados a materiales y fabricación del sistema. ....	61
Tabla 3.27: Costos relacionados a la alternativa 2. ....	62
Tabla 3.28: Comparación entre alternativas. ....	63
Tabla 3.29: Concentración de material particulado según el tipo de máquina. ....	64
Tabla 3.30: Comparación de la concentración de material particulado entre distintos estudios.....	64

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Ubicación de las máquinas del taller (Apéndice E)
- PLANO 2 Elementos del sistema (Apéndice E)
- PLANO 3 Componentes que conectan los ductos con las máquinas (Apéndice E)
- PLANO 4 Dimensiones y componentes del sistema de ductos (Apéndice E)
- PLANO 5 Ramal que conecta la salida del ventilador con la entrada del ciclón (Apéndice E)
- PLANO 6 Ciclón y topes de sujeción (Apéndice E)
- PLANO 7 Ciclón (Apéndice E)
- PLANO 8 Topes de sujeción (Apéndice E)
- PLANO 9 Tapa de ciclón (Apéndice E)
- PLANO 10 Partes y vista en explosión de tolva de almacenamiento (Apéndice E)
- PLANO 11 Dimensiones de cuerpo de tolva (Apéndice E)
- PLANO 12 Dimensiones de bases de compuerta de descarga (Apéndice E)
- PLANO 13 Dimensiones de tapa de compuerta de descarga (Apéndice E)
- PLANO 14 Componentes de plataforma (Apéndice E)
- PLANO 15 Dimensiones de plataforma (Apéndice E)
- PLANO 16 Partes de torre de ciclón-tolva (Apéndice E)
- PLANO 17 Dimensiones de torre (Apéndice E)

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

En la industria ecuatoriana, así como a nivel internacional, en los procesos de producción se deben llevar a cabo ciertos criterios de seguridad y manejo de desechos tanto en plantas industriales, talleres, etc. Un parámetro importante a tener en cuenta es el nivel de contaminación del aire del área de trabajo que se produce según el tipo de proceso que se lleva a cabo.

En la industria maderera en general, tanto en talleres de carpintería como plantas que operan con madera como materia prima, existen dos tipos de riesgo en el momento en que se ejecuta la producción, ellos son la expulsión de material particulado de madera al aire circundante y el otro, que va de la mano con el primero, es el riesgo de incendio debido al polvo de madera inflamable suspendido en el aire.

El presente proyecto se enfoca en brindar solución a este problema el cual está presente en toda la industria maderera ecuatoriana, tanto en la industria primaria como en la secundaria. Mediante un sistema de extracción que permita llevar un control del material particulado suspendido en el aire de las áreas de producción, pudiendo así reducir estos niveles a parámetros aceptables.

El sistema en cuestión consiste en un proceso de captación de aire cargado con material particulado el cual es transportado mediante un sub sistema de ductos interconectado a un dispositivo que se encarga de separar el aire limpio del polvo de madera, el cual es almacenado en un depósito y el aire limpio retorna a la atmósfera.

### 1.1 Descripción del problema

Uno de los factores de riesgo más importantes en un taller es el estar expuesto a agentes que produzcan un daño a corto o a largo plazo en la salud y terminen produciendo una enfermedad ocupacional. En el caso de un taller de carpintería, un factor de riesgo para la salud es el material particulado que queda suspendido en el aire tras la remoción de material ya sea por corte o pulido de la madera.

Se define como material particulado al contaminante atmosférico conformado por partículas sólidas o líquidas de diferentes formas y tamaños que se encuentran suspendidas libremente en el aire.

Un ejemplo común en la mayoría de los hogares es el polvo, si bien el polvo es un material particulado molesto, este es observable y se puede limpiar con facilidad, pero, la situación se complica cuando este material particulado es tan pequeño que representa un riesgo para la salud ya que no se detecta a simple vista y puede ser inhalado por una persona provocando serias enfermedades respiratorias o, incluso, llegar hasta cáncer en vías respiratorias. Además, pueden presentarse otro tipo de afecciones menores como dermatológicas y oftalmológicas.

Teniendo en cuenta la premisa anterior, se requiere elaborar una solución para reducir los niveles de material particulado suspendido y mejorar la calidad del aire en el área de producción de una empresa dedicada a la elaboración de casas de madera, de esta forma se puede minimizar el riesgo de que los operadores sufran cualquier tipo de enfermedad respiratoria, dermatológica u oftalmológica, relacionadas al material particulado y, además, tener un beneficio extra ya que se promueve un crecimiento en la eficiencia de la producción al eliminar periodos establecidos de limpieza de polvo y viruta de madera que se acumulan en el suelo y en las superficies de los equipos.

## **1.2 Justificación del problema**

Actualmente el área de producción de una empresa dedicada a realizar casas de madera no cuenta con un sistema para controlar la emisión de polvo que generan sus máquinas, por lo que éste se acumula y se esparce por toda el área de trabajo donde se estima que los operadores pueden estar sujetos a sufrir enfermedades respiratorias a largo plazo provocadas por las altas concentraciones de material particulado en el área de trabajo.

Las enfermedades que se pueden presentar en individuos expuestos a altas concentraciones de polvos de madera van desde irritación de la mucosa nasal hasta carcinoma de senos paranasales y de cavidad nasal (NTP (National Toxicology Program, 2016).

Por ello, es necesario reducir las concentraciones de material particulado PM10 y PM2.5 en los alrededores del área de producción debido al potencial riesgo que representa para la salud de las personas en las instalaciones aledañas, donde se estima que el porcentaje de emisiones de material particulado al ambiente por emisiones fugitivas de polvo son de 13.5% de PM10 y 15.6% de PM2.5 en zonas industrializadas de construcción y manejo de equipos que generen altas concentraciones de polvo presentes en el aire que superan el límite permitido establecido por estándares mundiales (Watson et al., 2000).

Actualmente el país no cuenta con una norma vigente que normalice estos parámetros, por lo que es necesario recurrir a estándares internacionales y acoger los parámetros establecidos que más se apeguen a las condiciones y variables de nuestra región.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de extracción de partículas de madera generado en el área de producción de una empresa hasta reducir su concentración en el aire a niveles tolerables para la salud humana.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Determinar el estado actual de presencia de partículas de madera en el ambiente del área de producción.
2. Diseñar un sistema de extracción localizada para cada máquina individualmente para reducir la presencia de polvo y virutas de madera.
3. Diseñar un sistema de ductos que transporten correctamente el material particulado.



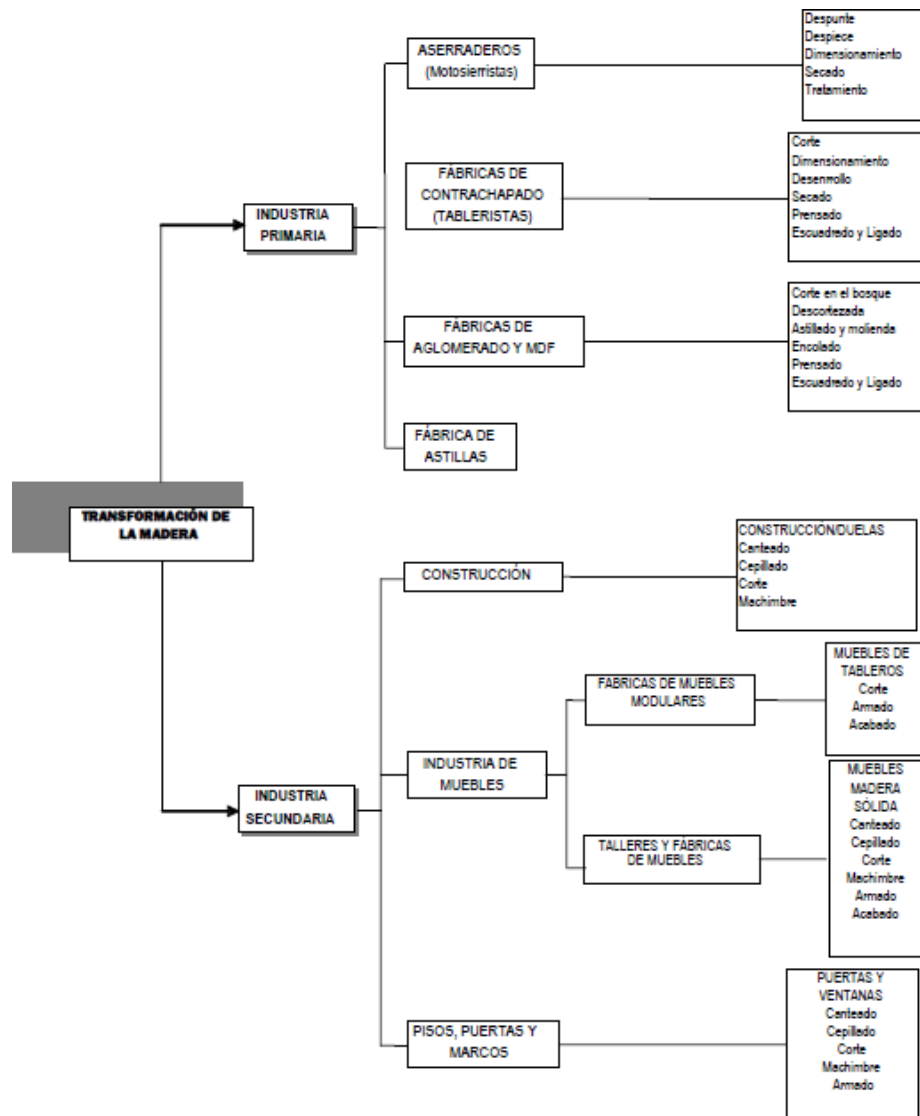
4. Diseñar un sistema purificador que separe las partículas de madera del aire transportado por los ductos.
5. Captar las partículas de madera separadas del purificador para su almacenamiento y gestión.
6. Realizar la correcta selección de los elementos estandarizados para la elaboración del diseño.
7. Establecer un plan de manejo de desechos.
8. Realizar una estimación del estado futuro del área de producción una vez implementada la solución.
9. Detallar los costos asociados a la implementación de la solución.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Industria de la madera en el Ecuador**

Actualmente en el país la industria forestal esta subdividida en dos sectores: industrial primario e industrial secundario, del primero se obtiene la primera transformación de la madera recién talada para obtener una materia prima más elaborada que luego, en el sector secundario es utilizada para elaborar un producto final de calidad y listo para comercializar.

El siguiente esquema mostrado en la Figura 1.1 representa la división de los subsectores de la industria forestal en el Ecuador:



**Figura 1.1: Industria maderera ecuatoriana y sus procesos.**  
**[Sub-sector Transformadores y comercializadores de madera en el Ecuador, 2007]**


El enfoque de este proyecto se dirige hacia el subsector de construcción maderera, el cual en el país está regido por la norma NEC 2015 NEC-SE-MD. En este se detalla los tipos de madera estructural usados en el país, además también hace referencia al Manual de diseño para maderas del grupo andino de PADT-REFORT editado por la Junta del acuerdo de Cartagena, en donde se detallan las 104 especies estudiadas de maderas estructurales, de las cuales las más usadas en el Ecuador se las subdivide en tres grupos: Grupo A: Caimitillo y Guayacán Pechiche, Grupo B: Chanul, Moral Fino y Pituca y Grupo C: Fernansánchez, Mascarey y Sande.

(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, MIDUVI, 2016) Las maderas que conforman estos tres grupos no entran en la categoría de maderas duras por lo que los niveles de concentración de polvo de madera suspendido en el aire es el mismo para los tres grupos. (Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT, 1982)

#### 1.4.2 Equipos utilizados en construcción maderera

La maquinaria utilizada para la fabricación de los diversos elementos utilizadas para elaborar estructuras de madera comprende:

**Tabla 1.1: Maquinaria para trabajar madera.  
[Elaboración propia]**



<b>Maquinaria para trabajar madera</b>	
<b>Sierra de mesa</b>	<p>Consiste en una máquina herramienta diseñada para corte mediante un avance manual de la pieza de trabajo. El equipo consta de una mesa o superficie horizontal lisa con una sierra circular fija que sobresale parcialmente sobre la mesa, un sistema motriz que hace girar la sierra, las cuales están cubiertas con guardas de protección.</p>  <p style="text-align: center;"><b>Figura 1.2: Máquina sierra de mesa. [Elaboración propia]</b></p>
<b>Canteadora</b>	<p>Consiste en una maquina utilizada para realizar un aplanado homogéneo y aportar una superficie lisa</p>

sobre la pieza de trabajo, generalmente utilizada para acoplar dos o más piezas para realizar una extensión o generar los cantos de una pieza de trabajo final. El equipo está compuesto por una mesa larga horizontal lisa, una guía de descanso para posicionar la pieza de trabajo y un rodillo con cuchillas que cruza ortogonalmente al largo de la mesa, parcialmente expuesto al ras de la superficie de la mesa.



**Figura 1.3: Máquina canteadora.**  
**[Elaboración propia]**

<p><b>Sierra múltiple</b></p>	<p>Consiste en una máquina herramienta diseñada para corte múltiple de la pieza de trabajo, generalmente de corte radial que cuenta con varias sierras circulares que permiten un ajuste de posición para obtener diversos tamaños de corte con la finalidad de obtener varias piezas en simultaneo. Las cuchillas generalmente están montadas mediante un eje conectado por banda al motor o directamente conectadas a este.</p> <div data-bbox="863 779 1257 1064" data-label="Image"> </div> <p><b>Figura 1.4: Máquina sierra múltiple.</b> [Elaboración propia]</p>
<p><b>Cepilladora</b></p>	<p>Es una máquina herramienta similar a la canteadora, ya que permite producir superficies planas y acabados lisos y homogéneos en la pieza de trabajo con la diferencia que esta permite realizar también acanalamientos o superficies geométricas en la pieza de trabajo.</p> <div data-bbox="896 1509 1224 1816" data-label="Image"> </div> <p><b>Figura 1.5: Máquina cepilladora.</b> [Elaboración propia]</p>

<p><b>Sierra péndulo</b></p>	<p>Consiste en una maquina compuesta de una mesa de trabajo con abertura transversal que permite el paso de una sierra circular móvil sujeto a un mecanismo de corredera o pivotante que se desplaza linealmente o angularmente con el fin de realizar el corte una vez la pieza de trabajo este situada en la zona de corte. El equipo cuenta con el sistema de transmisión de potencia y un sistema de protección por guardas que protegen al operador y al equipo.</p>  <p><b>Figura 1.6: Máquina sierra péndulo.</b> [Elaboración propia]</p>
<p><b>Pulidora de mesa</b></p>	<p>Consiste en una máquina herramienta diseñada para pulido mediante un avance manual de la pieza de trabajo contra la superficie del disco para pulir. El equipo consta de una mesa o superficie horizontal lisa con un disco para pulir fijo que sobresale parcialmente sobre la mesa, un sistema motriz que hace girar el disco, el cual está cubierto con guardas de protección.</p>  <p><b>Figura 1.7: Máquina pulidora de mesa.</b> [Elaboración propia]</p>

### **1.4.3 Efectos adversos sobre la salud producidos por la inhalación de polvo de madera**

Uno de los riesgos en relación a trabajos de carpintería es el de la inhalación de polvos de madera, estos pueden llegar a ser perjudiciales sobre la salud. Se sabe que una vez que el polvo suspendido es inhalado, este se deposita en la nariz, garganta u otras vías respiratorias.

Estudios epidemiológicos de casos y controles, así como de correlación realizados por la IARC respecto a cáncer en humanos demuestran que se han dado diversos casos de cánceres en personas que han estado expuestas a polvo de madera durante un tiempo prolongado, los tipos de carcinomas van desde tracto respiratorio hasta pulmonar (International Agency for Research on Cancer, 1995). Un estudio más detallado fue hecho en el año 2016 en EEUU mediante la resolución del 14to reporte sobre carcinomas presentado por la National Toxicology Program, en la sección de "Wood Dust" donde se detalla la estrecha relación entre periodos de tiempo prolongados de exposición a polvo de madera y la presencia de carcinoma de senos paranasales y de cavidad nasal (NTP (National Toxicology Program), 2016). Otras patologías que se presentan en los individuos expuestos a polvo de madera son: rinitis, sinusitis, bronquitis, asma, secoyosis, suberosis, fibrosis pulmonar, alveolitis alérgica, SPOT, enfermedad de la corteza del arce; entre individuos asociados con la exposición continua al polvo de madera cuyas ocupaciones, en la mayoría, se asocian a la industria maderera (CDC - NIOSH 1988 OSHA PEL Project Documentation, 2018).

Un artículo publicado el 7 de junio de 2011 resalta que los trabajadores de la industria maderera están expuestos a un abrupto incremento de entre 70 y 80 veces más de contraer cáncer nasal. Indica que en EEUU en promedio unas 50 personas al año son diagnosticadas con cáncer nasal luego de haber estado expuesto décadas al polvo de madera. (Meikle, 2011)

#### **1.4.4 Niveles permisibles de material particulado suspendido en el aire**

La ACGIH especifica que los niveles de concentración permitidos de material particulado suspendidos en el aire deben ser de TLV-TWA de 1 mg/m<sup>3</sup> para polvo de madera dura, un TLV-TWA de 5 mg/m<sup>3</sup> y STEL de 10 mg/m<sup>3</sup> para polvo de madera blanda de partículas inhalables en exposición ocupacional para prevenir irritación del tracto respiratorio inferior y disminución de la función pulmonar. La OSHA propuso que el nivel de concentración debía ser de TWA de 8 mg/m<sup>3</sup> por un periodo de 8 horas para polvo de madera dura y un TWA de 5 mg/m<sup>3</sup> por un periodo de 8 horas para polvo de madera blanda. Finalmente, la OSHA estableció un TWA único para un periodo de 8 horas de 5 mg/m<sup>3</sup> y un STEL de 10 mg/m<sup>3</sup> para toda la madera dura y polvo de madera blanda, excepto el cedro rojo occidental que, por su nivel de dureza y riesgo para la salud, fue establecido por la ACGIH en un nivel de concentración de TLV-TWA de 0.5 mg/m<sup>3</sup> para minimizar el potencial riesgo de contraer asma (U.S. Department of Labor & Occupational Safety and Health Administration, 1999).

#### **1.4.5 Benchmarking**

Se estudian dos trabajos similares que solucionan el mismo problema con respecto a la extracción de polvo en el área de producción, el uno consiste en un trabajo de titulación sobre el diseño de un sistema de extracción de polvo y viruta de madera para la carpintería de la fundación salesiana "Paces" presentado en el año 2018 en la ciudad de Cuenca. El segundo proyecto, consiste en una tesis de grado que trata sobre el 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.

La Tabla 1.2 cubre la metodología y los costos generales que exponen los proyectos mencionados anteriormente para resolver la problemática expuesta por cada uno.



**Tabla 1.2: Características de diseño y costos de los proyectos analizados.**

**[(Márquez Quizhpi & Ulloa Montero, 2018; Niveló Chalco & Ugalde Pacheco, 2011)]**

<b>Características de diseño y costos</b>	<b>Fundación salesiana "Paces"</b>	<b>Empresa INSOMET</b>
<b>Tipo de sistema de extracción</b>	Sistema de extracción localizada por tubería rígida en guardas.	Sistema de extracción por campanas fijas sobre la línea de producción.
<b>Tipo de sistema de filtrado de aire</b>	Ciclón de alta eficiencia tipo Stairmand.	Colector de polvo con filtros de mangas CPM-16/24 de 16 mangas y sistema de limpieza Pulse-Jet.
<b>Tipo de sistema de almacenamiento y gestión de desechos</b>	Silo para almacenamiento general y sacos de 50kg para vaciado y traslado de material del silo al exterior.	Tolva de almacenamiento acoplada al sistema de filtros de mangas.
<b>Costos estimados de producción y fabricación del sistema.</b>	\$17 236.00	\$37 577.72

Hay que tener en cuenta que ambos proyectos manejan escalas y materiales diferentes. El proyecto de la fundación "Paces" es de menor escala ya que se trata de un taller de carpintería, mientras que el proyecto de la empresa INSOMET maneja una escala industrial ya que la red de captación consta de varias líneas de producción de telares con más de 50 equipos.

De esta retroalimentación se tiene un panorama más conciso de que tipo se de sistemas se han implementado en proyectos previos en el país, lo que brinda un mejor criterio para decidir qué tipo de metodología es adecuada para el proyecto.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Alternativas de diseño

Se realizó una revisión de diferentes tipos de sistemas de extracción de material particulado que se utilizan en la industria con el propósito de identificar sus procesos críticos, los cuales fueron los siguientes:

- Captación del material particulado desde la fuente.
- Filtrado del aire contaminado.
- Almacenamiento del material particulado.

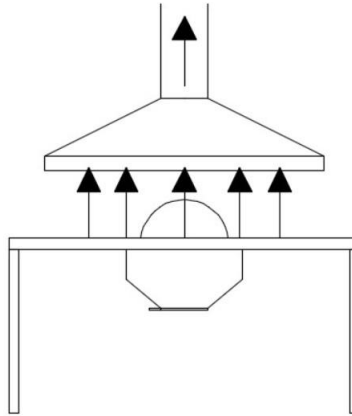
#### 2.1.1 Descripción de las alternativas de diseño para cada proceso crítico

##### 2.1.1.1 Captación del material particulado desde la fuente

Una vez identificado el lugar de las máquinas en donde se genera la mayor cantidad de material particulado, fue necesario determinar la mejor manera de captar ese residuo para extraerlo de la zona de trabajo, para lo cual se establecieron las siguientes alternativas:

##### **Alternativa 1: Campana de extracción fija sobre la zona de trabajo.**

Esta alternativa cuenta con una campana de extracción ubicada por encima del operador y de la zona de trabajo que permite retirar el material particulado suspendido libremente en el aire como el PM10 y el PM2.5. El esquema de esta alternativa se muestra en la Figura 2.1.

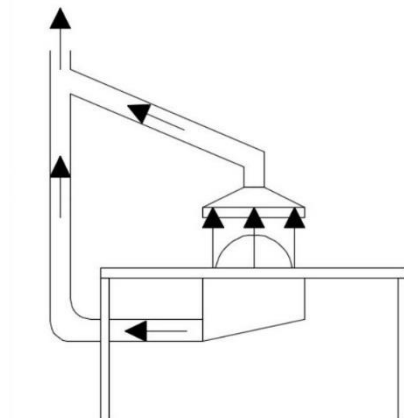


**Figura 2.1: Esquema de la alternativa 1 para la captación del MP desde la fuente.**

**[Elaboración propia]**

**Alternativa 2: Extracción localizada con tubería rígida acoplada al aislamiento de la fuente y cercana a la zona de trabajo.**

Esta alternativa consiste en un sistema de tuberías rígidas que se conectan directamente a la guarda de las máquinas donde se aísla y almacena el material particulado, además cuenta con una campana de extracción con tuberías rígidas cercana a la zona de trabajo para lograr una captación extra del material particulado que se esparce por los alrededores. El esquema de esta alternativa se muestra en la Figura 2.2.

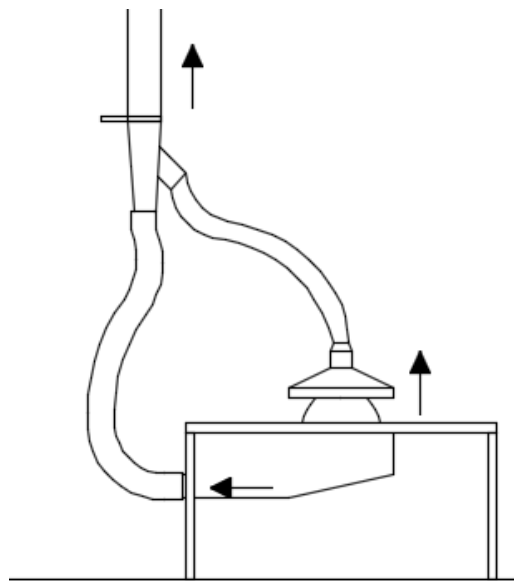


**Figura 2.2: Esquema de la alternativa 2 para la captación del MP desde la fuente.**

**[Elaboración propia]**

**Alternativa 3: Extracción localizada con manguera flexible acoplada al aislamiento de la fuente y cercana a la zona de trabajo.**

Esta alternativa consiste en un sistema de tubería fija que llega hasta una altura cercana a la zona de trabajo, luego se conecta mediante una manguera flexible a la guarda de las máquinas donde se aísla y almacena el material particulado, además cuenta con una campana de extracción con tuberías flexibles cercana a la zona de trabajo acoplada a un brazo mecánico que permite al operador ubicarlo donde el desee. El esquema de esta alternativa se muestra en la Figura 2.3



**Figura 2.3: Esquema de la alternativa 3 para la captación del MP desde la fuente.**

**[Elaboración propia]**

**2.1.1.2 Filtrado del aire contaminado**

El proceso más crítico identificado en el sistema de extracción es el filtrado, ya que es en el cual se separa el material particulado del gas que lo transporta, y de él depende si se cumple o no con las especificaciones de diseño. Las diferentes alternativas para filtrar el aire son las siguientes:

### Alternativa 1: Colector húmedo.

Este sistema consiste en hacer cruzar el gas contaminado a través de una película de agua, de esta manera el agua captura las partículas en suspensión y las arrastra hasta el fondo del contenedor en donde se almacena para luego ser purgada. El esquema de esta alternativa se muestra en la Figura 2.4.

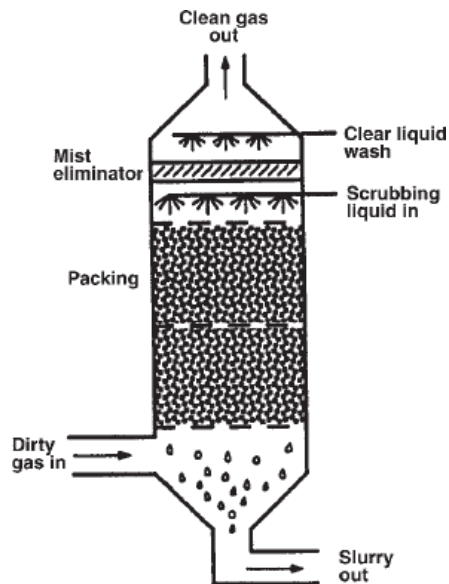
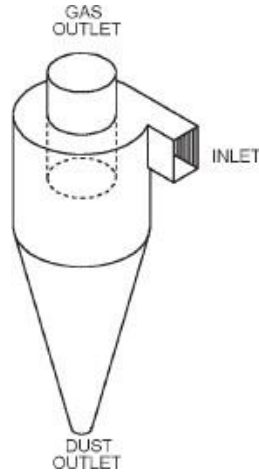


Figura 2.4: Colector húmedo del tipo torre compactada.

[Air Pollution Control Engineering (Wang et al., 2010)]

### Alternativa 2: Colector centrífugo seco.

Este sistema cuenta con una geometría especial que permite la formación de un ciclón dentro de él, de esta manera, debido a la fuerza centrífuga las partículas se pegan a las paredes del contenedor y gracias a la acción de la gravedad las partículas caen y se almacenan en un recipiente para luego ser retirado. El esquema de esta alternativa se muestra en la Figura 2.5.

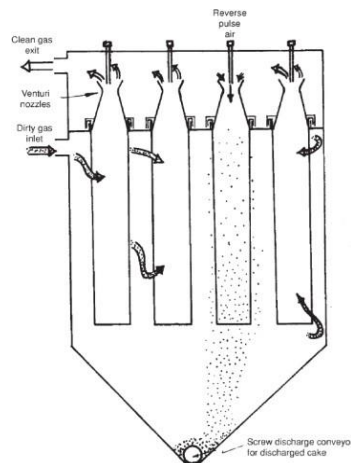


**Figura 2.5: Colector centrífugo seco "Ciclón".**

**[Air Pollution Control Engineering (Wang et al., 2010)]**

**Alternativa 3: Colector con filtros de mangas.**

Este sistema hace cruzar el gas contaminado a través de una serie de filtros característicos para cada tipo de material particulado, los filtros contienen las partículas y luego por acción de la vibración producida por un sistema externo, las mismas caen hasta el fondo del contenedor y se almacenan en un recipiente para luego ser retiradas. El esquema de esta alternativa se muestra en la Figura 2.6

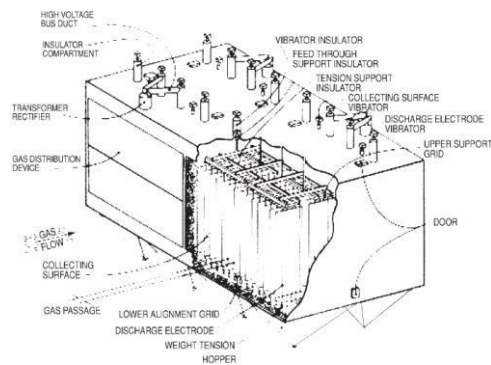


**Figura 2.6: Filtro de mangas con pulso jet reverse.**

**[Air Pollution Control Engineering (Wang et al., 2010)]**

#### **Alternativa 4: Colector con precipitadores electrostáticos.**

Consiste en un sistema de captación de material particulado que proyecta una carga electrostática al flujo entrante el cual brinda una carga eléctrica a las partículas suspendidas, una vez que el flujo ingresa a la cámara de separación, la cual está polarizada, el material suspendido se precipita por acción de la carga electrostática, hacia la tolva de almacenamiento y el aire limpio sale por el ducto de escape. El esquema de esta alternativa se muestra en la Figura 2.7.



**Figura 2.7: Componentes de un precipitador electrostático del tipo superficie plana.**

[Air Pollution Control Engineering (Wang et al., 2010)]

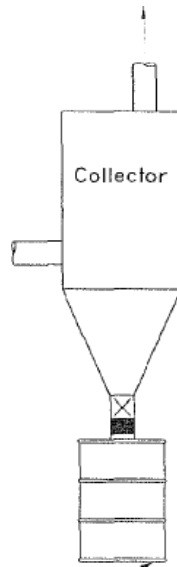
#### **2.1.1.3 Almacenamiento del material particulado**

Se considera un proceso crítico ya que de esto depende las cantidades de veces que se debe vaciar el contenedor en una jornada de trabajo, lo que se traduce en tiempo perdido de los trabajadores. El tipo de contenedor debe ser diseñado o seleccionado dependiendo de volumen de material de trabajo que se produce al día, las alternativas de diseño son las siguientes:

#### **Alternativa 1: Barril de acero cubierto**

Consiste en un barril de acero adaptado para conectarse a la salida de la tolva del ciclón para almacenar el material particulado. Se necesita hacer una modificación al tanque para hacerle una tapa y colocarlo encima de

un carrito para facilitar el transporte. El esquema de esta alternativa se muestra en la Figura 2.8.

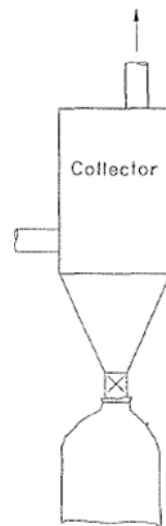


**Figura 2.8: Esquema del barril de acero cubierto.**

**[ACGIH (Committee on Industrial Ventilation, 1998)]**

### **Alternativa 2: Bolsa de tela colapsada**

Consiste en una bolsa de tela acoplada directamente a la salida de sistema de filtración mediante una abrazadera y no posee ningún tipo de recubrimiento. El esquema de esta alternativa se muestra en la Figura 2.9



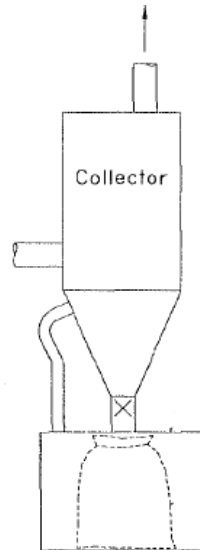
**Figura 2.9: Esquema de la bolsa de tela colapsada.**

**[ACGIH (Committee on Industrial Ventilation, 1998)]**



### **Alternativa 3: Bolsa desechable dentro de una caja cubierta**

Consiste en una caja cerrada de acero acoplada a la salida del sistema de filtración a la cual se le adapta una bolsa desechable dentro de ella para almacenar las partículas. El esquema de esta alternativa se muestra en la



**Figura 2.10: Esquema de la bolsa desechable dentro de una caja.**

**[ACGIH (Committee on Industrial Ventilation, 1998)]**

#### **2.1.2 Selección de las alternativas de selección para cada proceso crítico**

Se realizó un análisis entre las alternativas de cada proceso crítico con el fin de determinar las ventajas y desventajas de cada alternativa, la selección de cada alternativa se muestra en las Tabla 2.1, Tabla 2.2, Tabla 2.3 que corresponden al sistema de captación, sistema de filtrado y almacenamiento respectivamente. Las ventajas y desventajas de cada alternativa y la explicación de la ponderación de cada criterio de selección se muestran en el Apéndice C.

### 2.1.2.1 Captación del material particulado desde la fuente

Tabla 2.1: Matriz de decisión para la selección del sistema de captación de material particulado.

[Elaboración propia]

Criterios	Ponderación	Alternativas					
		Campana de extracción fija sobre la zona de trabajo		Extracción localizada con tubería rígida acoplada al aislamiento de la fuente y cercana a la zona de trabajo		Extracción localizada con manguera flexible acoplada al aislamiento de la fuente y cercana a la zona de trabajo	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Captación del material particulado suspendido y en la fuente	0.2	2	0.4	4	0.8	5	1
Facilidad de trabajo para operadores	0.2	5	1	3	0.6	4	0.8
Reducción del polvo de madera esparcido a los alrededores	0.15	2	0.3	5	0.75	5	0.75
Facilidad de mantenimiento	0.25	5	1.25	3	0.75	4	1
Costo	0.2	5	1	4	0.8	3	0.6
<b>Resultado</b>	<b>1</b>	<b>3.95</b>		<b>3.7</b>		<b>4.15</b>	

### 2.1.2.2 Filtrado del aire contaminado

Tabla 2.2: Matriz de decisión para la selección del sistema de filtrado del aire.

[Elaboración propia]

Criterios	Ponderación	Alternativas							
		Colector húmedo		Colector centrífugo seco		Colector de filtros de manga		Precipitador electrostático	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Capacidad de succión	0.15	5	0.75	5	0.75	5	0.75	5	0.75
Eficiencia de filtrado	0.2	3	0.6	2	0.4	4	0.8	5	1
Aplicabilidad al polvo de madera	0.25	3	0.75	5	1.25	3	0.75	1	0.25
Facilidad de mantenimiento	0.2	4	0.8	5	1	4	0.8	3	0.6
Costo	0.2	4	0.8	5	1	3	0.6	3	0.6
<b>Resultado</b>	<b>1</b>	<b>3.7</b>		<b>4.4</b>		<b>3.7</b>		<b>3.2</b>	

### 2.1.2.3 Almacenamiento del material particulado

**Tabla 2.3: Matriz de decisión para la selección del almacenamiento del material particulado.**

[Elaboración propia]

Criterios	Ponderación	Alternativas							
		Colector húmedo		Colector centrífugo		Colector de filtros de		Precipitador	
		Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje	Valor	Puntaje
Capacidad de succión	0.15	5	0.75	5	0.75	5	0.75	5	0.75
Eficiencia de filtrado	0.2	3	0.6	2	0.4	4	0.8	5	1
Aplicabilidad al polvo de madera	0.25	3	0.75	5	1.25	3	0.75	1	0.25
Facilidad de mantenimiento	0.2	4	0.8	5	1	4	0.8	3	0.6
Costo	0.2	4	0.8	5	1	3	0.6	3	0.6
<b>Resultado</b>	<b>1</b>	3.7		4.4		3.7		3.2	

## 2.2 Proceso de diseño

El proceso de diseño sigue el diagrama de flujo mostrado en la Figura 2.11. Se comenzó el con una charla con el cliente para establecer sus requerimientos y entender el problema a solucionar, luego se determinó los parámetros adecuados para el diseño de los elementos del sistema, los cuales son los siguientes:

- Distancias entre máquinas.
- Número de máquinas.
- Planos del área de producción.
- Volumen de material particulado generado en una jornada de trabajo.
- Concentración de material particulado que existe actualmente.
- Nivel máximo permisible de concentración de material particulado respirable en talleres de madera.
- Velocidades de captación.
- Velocidades internas de los ductos.
- Caudales de extracción por máquina

Con los parámetros de diseño establecido se eligió una ubicación para el ciclón y se procedió a realizar un diseño conceptual del recorrido de los ductos para evaluarlo con el cliente, si el recorrido es aceptado se procedió a realizar el diseño detallado de las guardas, campanas, ductos, ciclón,

bastidor del ciclón y finalizando el diseño detallado se seleccionaron los elementos estándares como el ventilador y las compuertas. El diseño detallado se revisará constantemente con el cliente hasta cumplir con sus requerimientos. Con el diseño finalizado, se procedió a realizar la estimación de costos y finalmente se estableció un plan de manejo de residuos para establecer el correcto procedimiento para extraer los desechos del almacenamiento.

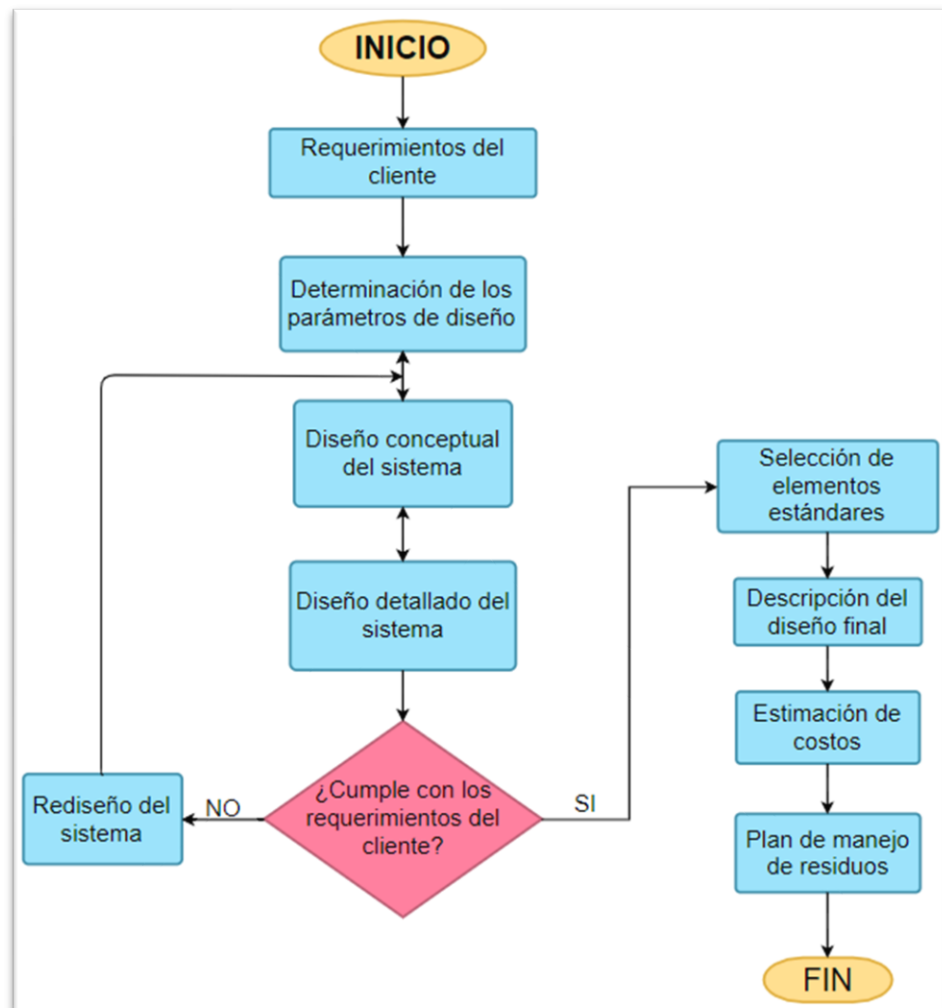


Figura 2.11: Diagrama de flujo del proceso de diseño.

[Elaboración propia].

## 2.3 Determinación de parámetros experimentales

### 2.3.1 Concentración de material particulado en el taller

La medición de la concentración del material particulado se la realizó en el sitio con un equipo de captación gravimétrica, en este caso se utilizó la máquina MEM Model-400 mostrado en la Figura 2.12, la cual hace pasar el aire ambiental contaminado a través de un filtro especial en función del tamaño de partícula que se desee medir previamente pesado, luego del periodo de muestreo se pesó nuevamente el filtro y se obtuvo la concentración para cada tamaño de partícula.

El periodo de muestreo fue de 8 horas y los resultados de concentración PM10 y PM2.5 se compararon con los valores permisibles de la concentración ambiental estipulados por la norma ecuatoriana de calidad de aire, por otro lado, los resultados del TWA tomados en un período de 8 horas se comparó con el valor máximo permisible establecido por la OSHA. Con estos resultados se realizó el informe del estado actual del taller.



**Figura 2.12: M400 MICRO-ENVIRONMENTAL MONITOR (MEMTM).**

**[Ecotech (M400 Micro-Environmental Monitor, s/f)]**

### 2.3.2 Determinación de las propiedades y características de polvo y viruta de madera

Se realizó una caracterización mediante un análisis granulométrico de una muestra de material tomado directamente del área de trabajo en un día de producción regular, el cual consiste en separar la muestra en diferentes tamaños por fracciones utilizando diferentes tamices para luego obtener el peso de cada fracción de material que queda depositado en los diferentes tamices y luego con los datos realizar una representación por el método acumulativo. Para el análisis estadístico de las muestras analizadas se midió el sesgo y la asimetría para determinar si la muestra presenta una distribución normal.



Figura 2.13: Tamizador Ro-Tap marca WS Tyler modelo RX-29  
[Laboratorio de geotecnia de la FICT – ESPOL]

#### 2.3.2.1 Análisis granulométrico

Se recolectó una muestra del material que producen las maquinas en una jornada normal, teniendo en cuenta que la proporción de todos los tipos de viruta, aserrín y polvo presentes en la muestra deben ser homogéneos. Una vez tomada la muestra, se procedió a realizar una distribución por masa mediante tamizado utilizando el equipo de la

Figura 2.13. Una vez obtenida la distribución por masas se realizó una distribución acumulada de los datos, en donde se obtuvo la curva granulométrica de fracción cernida, ecuación (2.1), y fracción retenida, ecuación (2.2), vs diámetro promedio de los tamices consecutivos (Serret-Guasch et al., 2016).

$$X_i = 1 - \sum \Delta X_i \quad (2.1)$$

$$Y_i = \sum \Delta X_i \quad (2.2)$$

### 2.3.2.2 Análisis estadístico de caracterización de muestra

Se determinó el sesgo o asimetría con respecto a la fracción acumulativa retenida mediante el cálculo del tercer momento de  $X_i$  con respecto a la media  $\bar{X}$  mediante la ecuación (2.3).

$$\mu_3 = \sum (X_i - \bar{X})^3 \quad (2.3)$$

Luego se obtuvo el coeficiente de asimetría de sesgo mediante la ecuación (2.4).

$$\alpha_3 = \frac{1}{n} \frac{\sum f_i \mu_3}{s^3} \quad (2.4)$$

Luego se determinó la asimetría mediante curtosis para saber si la muestra analizada tiene una concentración entorno a su media y por lo tanto presenta una distribución normal (Zurita, 2010). Primero se calculó el cuarto momento de  $X_i$  con respecto a la media  $\mu$  mediante la ecuación (2.5).

$$\mu_4 = \sum (X_i - \bar{X})^4 \quad (2.5)$$

Luego se obtuvo la medida de Curtosis mediante la ecuación (2.6).

$$\alpha_4 = \frac{1}{n} \frac{\sum f_i \mu_4}{s^4} \quad (2.6)$$

### 2.3.2.3 Determinación de densidad aparente de las muestras

De la muestra recolectada en el taller, se procedió a clasificarlas según su apariencia en viruta amarilla gruesa, viruta amarilla fina, polvo oscuro fino y polvo amarillo fino, cada clasificación se la colocó en un recipiente con volumen conocido y se midió su masa con una balanza basándose

en el estudio de Caracterización de aserrín de diferentes maderas (Serret-Guasch et al., 2016), con el volumen y masa resultante se calculó la densidad para cada clasificación usando la ecuación (2.7).

$$\rho_{muestra} = \frac{m_{muestra}}{Vol_{muestra}} \quad (2.7)$$

## 2.4 Diseño de los elementos del sistema

### 2.4.1 Esquema de los elementos del sistema

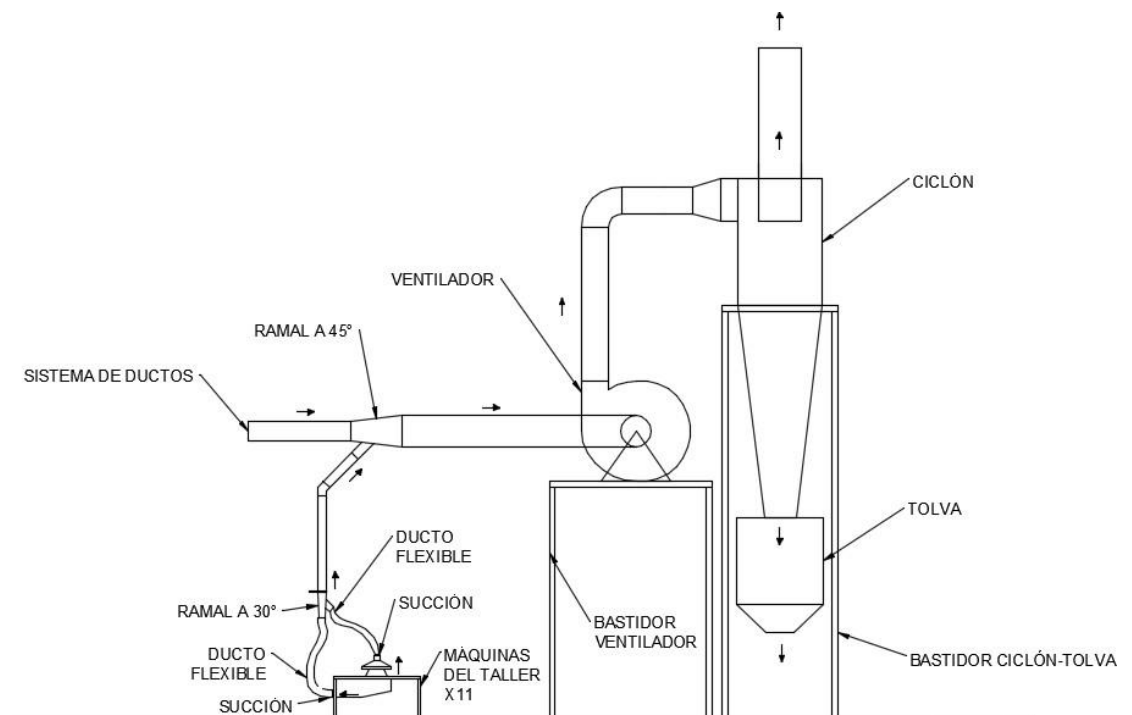


Figura 2.14: Esquema de la interconexión entre los elementos del sistema.

[Elaboración propia].

### 2.4.2 Caudales de extracción

El tipo de polvo de madera que se genera en el taller varía en función de la máquina y el tipo de madera con la que trabaja, para determinar el caudal de extracción para cada máquina se trabajó con las recomendaciones del manual de diseño de la ACGIH (Committee on Industrial Ventilation, 1998) que indica la velocidad de succión, la velocidad mínima interna de los ductos y el caudal de extracción para cada máquina del taller.



### 2.4.3 Succión en las máquinas

Para diseñar las campanas de extracción se siguió el esquema que se muestra en la Figura 2.15.

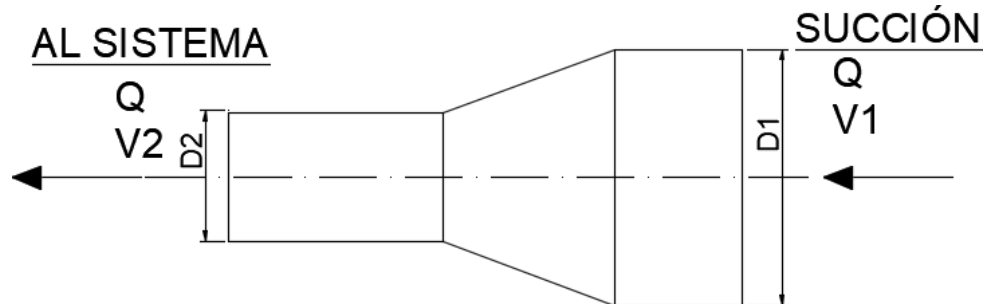


Figura 2.15: Esquema de las campanas de extracción.

[Elaboración propia]

Teniendo en cuenta que el caudal que va al sistema y el que se tiene en la succión es el mismo, este se rige bajo la ecuación (2.8).

$$Q_{máquina} = A_{ducto} * V \quad (2.8)$$

Se determinó que la campana tendría secciones circulares a la entrada y a la salida, por lo tanto, su área vendría dada por la ecuación (2.9).

$$A_{ducto} = \frac{\pi D_{ducto}^2}{4} \quad (2.9)$$

En conclusión, se obtuvo que el diámetro en la entrada y salida de la campana se determina mediante la ecuación (2.10).

$$D_{ducto} = \sqrt{\frac{4 Q_{máquina}}{\pi V}} \quad (2.10)$$

Cabe recalcar que en algunos casos no fue posible tener una sección circular en la entrada de la campana, por lo que se utilizó un ducto cuadrado equivalente.

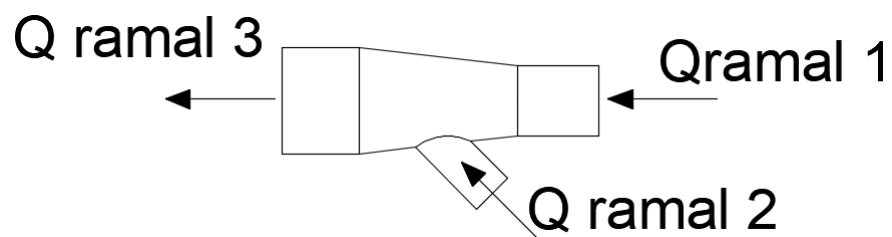
### 2.4.4 Guarda para las máquinas

El diseño de las guardas se lo hizo mediante diseño de forma de tal manera que se aisle de la mejor forma el lugar de las máquinas en donde se almacenan las virutas de madera teniendo en cuenta el diámetro de la entrada de las succiones.

## 2.4.5 Sistema de ductos

### 2.4.5.1 Diámetro de cada sección

Con ayuda del plano del taller, se realizó un diseño conceptual del recorrido de las tuberías y de la ubicación del ciclón, este recorrido fue revisado con el cliente hasta obtener su aprobación, teniendo el recorrido listo y con los caudales de extracción de cada máquina, se determinó el caudal de cada sección de la tubería teniendo en cuenta que este sería la sumatoria del caudal de sus ramales (ASHRAE, 2001).



**Figura 2.16: Esquema para determinar el caudal en una sección de las tuberías.**

[Elaboración propia]

$$Q_{ramal\ 3} = Q_{ramal\ 1} + Q_{ramal\ 2} \quad (2.11)$$

Con el caudal obtenido en cada ramal y la velocidad de transporte se obtuvo el diámetro de cada sección mediante la ecuación (2.10), este diámetro fue corregido a los diámetros estándares que se encuentran en la industria y se obtuvo la velocidad corregida teniendo en cuenta que sea mayor a la velocidad mínima de transporte.

### 2.4.5.2 Pérdidas de presión por fricción en los ductos

Se determinó la pérdida de fricción en los ductos aplicando la ecuación (2.12) teniendo en cuenta que debido a que la sección de los ductos es circular, el diámetro hidráulico es igual al diámetro interno del ducto. (ASHRAE, 2001).

$$\Delta P_f = \frac{1000 * f * L}{D_h} P_{v-ducto} \quad (2.12)$$

La presión de velocidad en un tramo de ducto se calculó mediante la ecuación (2.13).

$$P_v = \frac{\rho_g V^2}{2} \quad (2.13)$$

Por último, el factor de fricción se lo calculó primeramente calculando un factor de fricción prima mediante la ecuación (2.14) utilizando el número de Reynolds que se calculó con la ecuación (2.15).

$$f' = 0.11 \left( \frac{\varepsilon}{D_h} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \quad (2.14)$$

$$Re = \frac{D_h V}{1000 \nu} \quad (2.15)$$

Dependiendo del resultado se tendrán dos casos para determinar el factor de fricción:

Si  $f' \geq 0.018$ , usar la ecuación (2.16):

$$f = f' \quad (2.16)$$

Si  $f' < 0.018$ , usar la ecuación (2.17):

$$f = 0.85f' + 0.0028 \quad (2.17)$$

Los materiales que se utilizaron para el diseño de los ductos fueron el acero galvanizado y los ductos flexibles, sus valores de rugosidad absoluta se tomaron de la Tabla 2.4

**Tabla 2.4: Rugosidad absoluta para distintos materiales.**

[ASHRAE, 2001]

Duct Material	Roughness Category	Absolute Roughness $\epsilon$ , mm
Uncoated carbon steel, clean (Moody 1944) (0.05 mm)	Smooth	0.03
PVC plastic pipe (Swim 1982) (0.01 to 0.05 mm)		
Aluminum (Hutchinson 1953) (0.04 to 0.06 mm)		
Galvanized steel, longitudinal seams, 1200 mm joints (Griggs et al. 1987) (0.05 to 0.10 mm)	Medium smooth	0.09
Galvanized steel, continuously rolled, spiral seams, 3000 mm joints (Jones 1979) (0.06 to 0.12 mm)		
Galvanized steel, spiral seam with 1, 2, and 3 ribs, 3600 mm joints (Griggs et al. 1987) (0.09 to 0.12 mm)		
Galvanized steel, longitudinal seams, 760 mm joints (Wright 1945) (0.15 mm)	Average	0.15
Fibrous glass duct, rigid	Medium rough	0.9
Fibrous glass duct liner, air side with facing material (Swim 1978) (1.5 mm)		
Fibrous glass duct liner, air side spray coated (Swim 1978) (4.5 mm)	Rough	3.0
Flexible duct, metallic (1.2 to 2.1 mm when fully extended)		
Flexible duct, all types of fabric and wire (1.0 to 4.6 mm when fully extended)		
Concrete (Moody 1944) (1.3 to 3.0 mm)		

#### 2.4.6 Pérdidas de presión por accesorios

La pérdida de presión a través de los codos y transiciones se los calculó siguiendo la metodología del manual de fundamentos de HVAC (ASHRAE, 2001), se utilizó la ecuación (2.13) para hallar la presión de velocidad y luego el resultado se lo multiplicó por su factor multiplicativo como lo indica la ecuación (2.19).

Las pérdidas de presión a través de los ramales se las calcularon siguiendo la metodología del manual de ventilación industrial (Committee on Industrial Ventilation, 1998) utilizando el sistema inglés de unidades para luego llevar los resultados al sistema internacional.

El primer paso fue el calcular la presión de velocidad a través de los ramales mediante la ecuación (2.18) para luego multiplicar su resultado por su factor multiplicativo como se muestra en la ecuación (2.19). En el caso de los ramales se fijó en ángulo a 30° para los ramales que conectan con los ductos flexibles, y se fijó el ángulo a 45° para los ramales del sistema de ductos.

$$P_{v-ACGIH} = \rho_{g-ingles} \left( \frac{V_{fpm}}{1096} \right)^{0.25} \quad (2.18)$$

$$\Delta P_{acc} = K_{acc} * P_{v-acc} \quad (2.19)$$

## 2.4.7 Diseño del ciclón

El diseño del ciclón se lo realizó siguiendo el procedimiento de diseño estándar mostrado en el manual de ciencia y tecnología de polvos (Fayed & Otten, 1997).

### 2.4.7.1 Dimensiones del ciclón

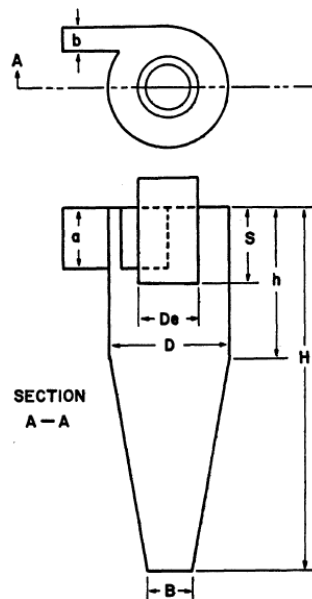


Figura 2.17: Dimensiones del ciclón.

[Handbook of powder science and technology (Fayed & Otten, 1997)]

Para obtener las dimensiones del ciclón mostradas en la Figura 2.17 se utilizó el caudal resultante de la sumatoria de todos los ramales y luego con la ayuda de las relaciones mostradas en la Tabla 2.5 se obtuvo el diámetro del ciclón usando el modelo Stairmand de alta eficiencia, dicho diámetro sería el punto de partida para encontrar el resto de dimensiones.

**Tabla 2.5: Relaciones para las dimensiones del ciclón para diferentes condiciones de trabajo.**

**[Handbook of powder science and technology (Fayed & Otten, 1997)]**

SOURCE	RECOMMENDED DUTY										
		D	a/D	b/D	De/D	S/D	h/D	H/D	B/D	ΔH	Q/D <sup>2</sup> (m/h)
Stairmand <sup>4</sup>	High-efficiency	1	0.5	0.2	0.5	0.5	1.5	4.0	0.375	6.4	5500
Swift <sup>5</sup>	High-efficiency	1	0.44	0.21	0.4	0.5	1.4	3.9	0.4	9.2	4940
Lapple <sup>6,7</sup>	General-purpose	1	0.5	0.25	0.5	0.625	2.0	4.0	0.25	8.0	6860
Swift <sup>5</sup>	General-purpose	1	0.5	0.25	0.5	0.6	1.75	3.75	0.4	7.6	6680
Stairmand <sup>4</sup>	High-throughput <sup>a</sup>	1	0.75	0.375	0.75	0.875	1.5	4.0	0.375	7.2	16,500
Swift <sup>5</sup>	High-throughput <sup>a</sup>	1	0.8	0.35	0.75	0.85	1.7	3.7	0.4	7.0	12,500

<sup>a</sup> Scroll type gas entry used.

#### 2.4.7.2 Caída de presión

La caída de presión se determinó utilizando la ecuación (2.20) la cual está en función del número de cabezales de entrada, la densidad del gas que transporta las partículas y la velocidad de entrada. En este caso se siguió el modelo de Shepherd and Lapple (Shepherd & Lapple, 1940) para encontrar el número de cabezales de entrada, dicho valor se muestra en la Tabla 2.5. El gas que transporta las partículas es el aire, y se trabajó con su densidad cuando este se encuentra a una presión ambiental y a una temperatura ambiente de 32°C (Red de Estaciones Automáticas | INAMHI, 2019). La velocidad a la entrada del ciclón dependerá de su área de entrada, dicho valor se lo encontró con la ecuación (2.21)

$$\Delta P_{ciclón} = \Delta H * \left( \frac{1}{2} \rho_g V_{in}^2 \right) \quad (2.20)$$

$$V_{in} = \frac{Qt}{a * b} \quad (2.21)$$

### 2.4.7.3 Velocidad máxima tangencial

Se siguió el modelo de Iozia y Leith (Iozia & Leith, 1989) en el cual se calcula un factor de geometría adimensional con la ecuación (2.22) para luego determinar la velocidad máxima tangencial en la entrada del ciclón usando la ecuación (2.23).

$$C_I = \left(\frac{ab}{D^2}\right)^{0.61} \left(\frac{D_e}{D}\right)^{-0.74} \left(\frac{H}{D}\right)^{-0.33} \quad (2.22)$$

$$V_{max} = 6.1V_{in}C_I \quad (2.23)$$

### 2.4.7.4 Longitud del núcleo

Primeramente, se determinó el diámetro del núcleo utilizando la ecuación (2.24)

$$d_c = 0.52 D \left(\frac{ab}{D^2}\right)^{-0.25} \quad (2.24)$$

Evaluando el resultado se pueden tener dos posibilidades para calcular la longitud del núcleo:

Si  $d_c > B$ , usar la ecuación (2.25):

$$z_c = (H - S) - \left( \left( \frac{H - h}{\frac{D}{B} - 1} \right) \left( \frac{d_c}{B} - 1 \right) \right) \quad (2.25)$$

Si  $d_c < B$ , usar la ecuación (2.26):

$$z_c = H - S \quad (2.26)$$

### 2.4.7.1 Eficiencia del ciclón

El primer paso para encontrar la eficiencia del ciclón fue hallar el diámetro de corte obtenido en el análisis granulométrico de las partículas recolectadas con una eficiencia teórica del 50% siguiendo el modelo de Iozia y Leith (Iozia & Leith, 1989) utilizando la ecuación (2.27).

$$d_{50} = \left( \frac{9Q\mu}{\pi z_c \rho_p V_{max}^2} \right) \quad (2.27)$$

Luego, se calcularon los parámetros logarítmicos de la geometría del ciclón y la pendiente logarítmica con ayuda de la ecuación (2.28) y la ecuación (2.29) respectivamente.

$$C_{\beta} = \frac{ab}{D^2} \quad (2.28)$$

$$\ln \beta = 0.62 - 0.87 \ln (d_{50-cm}) + 5.21 \ln C_{\beta} + 1.05 (\ln C_{\beta})^2 \quad (2.29)$$

El siguiente paso es calcular la eficiencia del ciclón mediante la ecuación (2.30) para obtener un gráfico mostrando la eficiencia del ciclón para diferentes tamaños de partículas.

$$\eta_d = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{50}}{d_p}\right)^{\beta}} \quad (2.30)$$

Por último, utilizando los resultados de la caracterización del material particulado, se tomó la eficiencia para el diámetro promedio de cada rango de partículas y se multiplicó dicho valor para su rango de fracción para obtener la eficiencia fraccional, la sumatoria de todas las eficiencias fraccionales dio como resultado el valor de la eficiencia global del ciclón, dicha eficiencia se utilizó para encontrar la concentración remanente en el taller mediante la ecuación (2.31).

$$C_f = C_o * (1 - \eta_{global}) \quad (2.31)$$

#### 2.4.8 Selección del ventilador

Debido a que la naturaleza del proyecto es el transporte de material, se recomienda utilizar ventiladores del tipo radial centrífugo ya que pueden resistir la acumulación del material, se obtienen las velocidades mínimas del transporte gracias al diseño de su carcaza y sus alabes resisten altos impactos (Committee on Industrial Ventilation, 1998). Se seleccionó un ventilador a prueba de explosiones en función al caudal total de extracción y a la pérdida total de presión con la ecuación (2.32).

$$P_{fan} = \Delta P_f + \Delta P_{acc} + \Delta P_{ciclón} \quad (2.32)$$



#### **2.4.9 Diseño de la tolva**

El diseño de la tolva se lo realizó siguiendo el manual “Criteria for Design of Steel Bins for Storage of Bulk Materials” de la normativa de la India IS:9178 de 1979 parte 1, 2 y 3; el artículo de revista académica “Storage and Flow of Particulate Solids” por el Dr. J. Tomas en la universidad de Magderburg en el año 2015 y el artículo de revista académica “Design of bins and hoppers for the storage of particulate materials. Problems associated with the discharge operation” del Instituto de Tecnología Cerámica (ITC) de la universidad Jaime I. Castellón de España.

Para el diseño de la tolva se necesitan conocer el diámetro de partícula promedio, así como algunas propiedades mecánicas de la muestra tales como: densidad aparente, ángulo de fricción interna, ángulo efectivo de fricción interna, ángulo de fricción de pared, ángulo de descarga mínimo y el factor de flujo del material. Los tamaños de partícula se obtuvo del análisis granulométrico, la densidad se obtuvo de un ensayo previamente y los ángulos se obtuvieron del estudio “Mechanical properties of sawdust and woodchips” (Stasiak et al., 2015).

##### **2.4.9.1 Dimensiones de la tolva**

Se estableció que la tolva debe ser de tipo cónica (piramidal) de flujo másico. Para realizar el dimensionamiento de la tolva es necesario calcular ciertas dimensiones en base a las propiedades y características del material que va a almacenar con el fin de evitar problemas de canalización, flujo lento, formaciones de domos, vaciado incompleto o segregación. Primero se determinaron ciertas propiedades mecánicas del material de almacenamiento a fin de obtener el ángulo de descarga y el diámetro mínimo de descarga, las demás dimensiones como área de sección superior y altura de la tolva se ajustaron a los requerimientos del cliente. Previamente ya se determinó la densidad aparente, el ángulo de fricción interna y el ángulo efectivo de fricción interna del material. Con estos datos se determinó el ángulo de fricción de pared de la Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Ángulos de fricción y rangos de presión.  
 [(IS 9178-1 (1979): *Criteria for Design of Steel Bins for Storage of Bulk Materials, Part 1: General Requirements and Assessment of Loads, s/f*)]

Sl. No.	MATERIAL	ANGLE OF WALL FRICTION $\delta$		PRESSURE RATIO $\lambda$	
		While filling	While emptying	While filling	While emptying
i)	Granular materials with mean particle diameter $\geq 0.2$ mm	$0.75 \phi$	$0.6 \phi$	0.5	1.0
ii)	Powdery materials (except wheat flour) with mean particle diameter less than 0.06 mm	$1.0 \phi$	$1.0 \phi$	0.5	0.7
iii)	Wheat flour	$0.75 \phi$	$0.75 \phi$	0.5	0.7

NOTE — For materials having mean particle diameters in between 0.06 mm and 0.2 mm, the necessary values of angle of wall friction may be obtained by linear interpolation

Con el ángulo de fricción de pared se determinó el ángulo de descarga mínimo para flujo asimétrico en el rango de flujo másico mediante el gráfico mostrado en la Figura 2.18. Del ángulo que se obtiene de la gráfica, se recomienda restarle 3 grados por factores de seguridad.

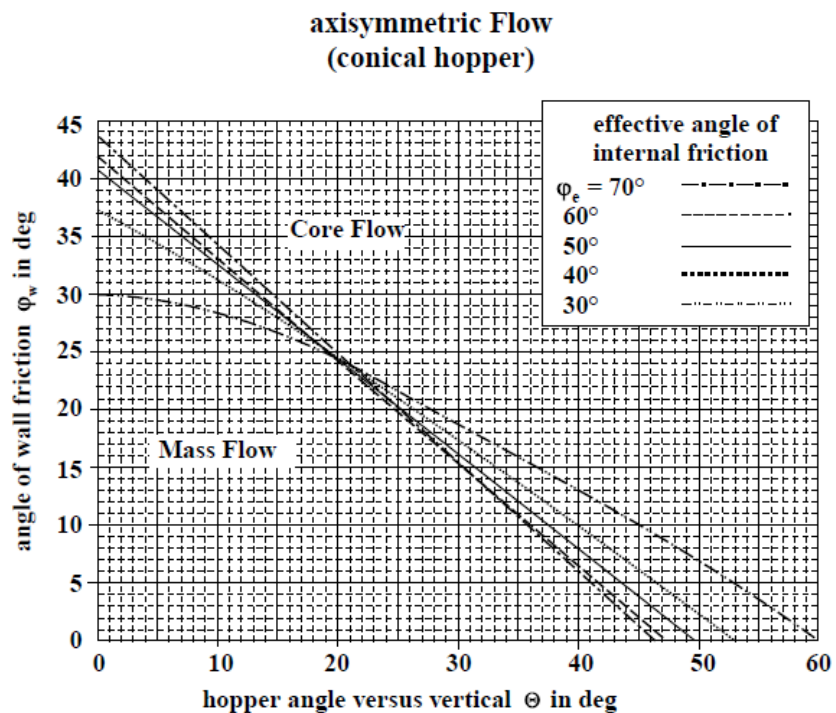
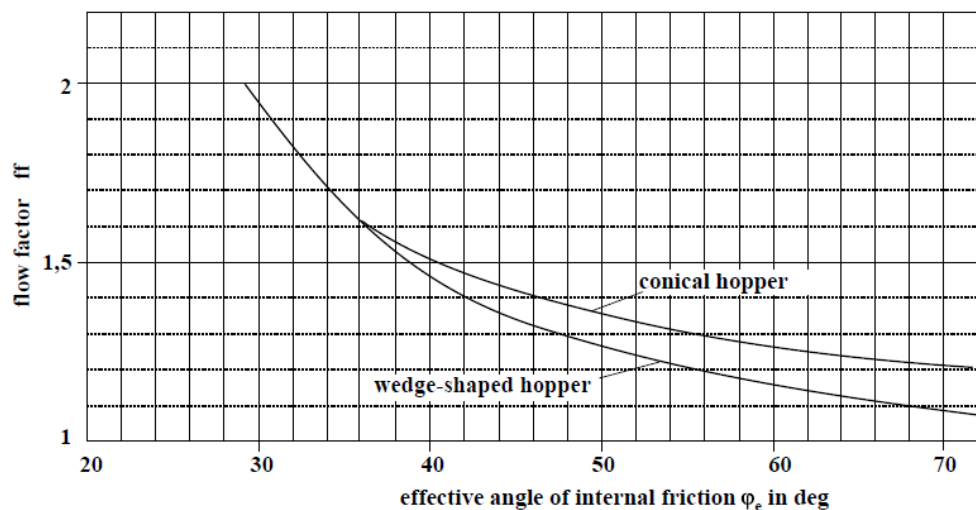


Figura 2.18: Bound between Mass and Core Flow.

[Tomas, 2015]

El diámetro de descarga mínimo está en función del ángulo de descarga mínimo y los esfuerzos internos del material. El esfuerzo de cizalla interno del material conocido como CAS se lo determina por el punto de intersección entre las curvas MFF y  $1/ff$ . Para determinar el MFF y  $1/ff$  es necesario conocer el factor de flujo del material y el esfuerzo de material no confinado. Primero se determinó el factor de flujo de material, si el ángulo de fricción de pared está comprendido entre  $10^\circ$  y  $30^\circ$  es posible utilizar el gráfico de la Figura 2.19 para determinar el factor de flujo en función del ángulo efectivo de fricción interna (Tomas, 2015).

(angle of wall friction  $\phi_w = 10^\circ - 30^\circ$ )



**Figura 2.19: Verificación del factor de flujo aproximado.**  
**[(Tomas, 2015)]**

El esfuerzo de material no confinado se lo determinó mediante la ecuación (2.33).

$$f_c = \sigma_n^{\tan \delta} \quad (2.33)$$

Una vez determinado el esfuerzo de material no confinado y la inversa del factor de flujo del sistema, se los representa gráficamente en función del esfuerzo normal máximo en la misma gráfica y su intersección corresponde al CAS. (J.L. Amorós et al., 2000)

El diámetro de descarga mínimo está dado por la ecuación (2.34).

$$D_d = \left(2 + \frac{\theta}{60}\right) \frac{CAS}{\rho_p g} \quad (2.34)$$

La altura de la tolva se debe ajustar a los requerimientos del cliente, por ello se determinó la altura de la sección inferior mediante la ecuación (2.35) y la ecuación (2.36) conociendo las dimensiones de la sección superior, la sección inferior y el ángulo de descarga.

$$h_o = \frac{L_1/2}{\tan \theta} \quad (2.35)$$

$$h_b = \frac{L_2/2}{\tan \theta} \quad (2.36)$$

En base a la altura de la sección inferior se determinó la altura de la sección superior para que la altura total de la tolva se ajuste a la solicitada por el cliente.

$$z_2 = h_o - h_b \quad (2.37)$$

$$z_1 = z - z_2 \quad (2.38)$$

#### 2.4.9.2 Espesor de pared de tolva

Para determinar el espesor de la placa para la tolva, primero se determinó los esfuerzos sobre la tolva. El esfuerzo que se ejerce sobre el fondo de la tolva debido al peso del material está dado por la ecuación (2.39) (Tomas, 2015).

$$P_v = \frac{\rho_p g L_2}{4K \tan \phi} \left( 1 - e^{\left( -\frac{4Kz \tan \phi}{L_2} \right)} \right) \quad (2.39)$$

Donde la constante  $K$  es el mayor de estos tres:

$$K = 0.4 \quad (2.40)$$

$$K = \frac{1 - \sin \delta}{1 + \sin \delta} \quad (2.41)$$

$$K = \frac{1 - \sin^2 \delta}{1 + \sin^2 \delta} \quad (2.42)$$

La presión sobre la pared de la tolva está dada por la ecuación (2.43) (2.44).

$$P_w = K P_v \quad (2.43)$$

Con ello se calculó el espesor de pared mediante la ecuación (2.44).

$$e_p = \frac{P_w r_h}{\sigma_f} \quad (2.44)$$

### 2.4.9.3 Capacidad de tolva

Para el cálculo de la capacidad volumétrica de la tolva se utilizó la ecuación (2.45) en función de las dimensiones ya establecidas previamente.

$$V_T = \frac{z_2}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) + A_1 z_1 \quad (2.45)$$

La capacidad de carga neta se determinó en base al material que almacenará la tolva, en este caso polvo y viruta de madera, donde previamente ya se determinó su densidad aparente. Se utilizó la ecuación (2.46) para el cálculo:

$$M = \rho_p V_T \quad (2.46)$$

### 2.4.9.4 Tasa de descarga de tolva

El cálculo de descarga de tolva permite determinar cada cuanto tiempo hay q realizar el vaciado de la tolva. Se determinó mediante la ecuación (2.47).

$$\dot{m} = \rho_p A_2 \sqrt{\frac{L_2 g}{2(m+1) \tan \theta}} \quad (2.47)$$

### 2.4.10 Diseño de plataforma de ventilador y de torre de ciclón-tolva

El diseño de la plataforma para montar el ventilador, así como el de la torre del ciclón y la tolva, se realizaron teniendo en cuenta las cargas estimadas que soportarían cada uno. En base a esto se realizó un diseño conceptual para ser evaluado con el cliente, una vez satisfecho se procedió a diseñarlo. La selección de los perfiles se realizó en base a las cargas que soportan las estructuras en sus columnas y en sus vigas principales siguiendo las recomendaciones del manual de diseño de la AISC (American Institute of Steel Construction, 2011) y el libro de "Resistencia de Materiales" de Pytel y Singer (Pytel & Singer, 1994).

### 2.4.10.1 Diseño de columnas por pandeo

Primero se determinó si es columna larga o corta, para ello se determinó la relación de esbeltez expresada en la ecuación (2.48) y con ello se comparó su relación entre la longitud efectiva y el radio de giro mínimo en la ecuación (2.49) y ecuación (2.50).

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_{pc}}} \quad (2.48)$$

$$\frac{L_e}{r_g} < C_c \quad (2.49)$$

$$\frac{L_e}{r_g} > C_c \quad (2.50)$$

Si se cumple la ecuación (2.49), se tiene una columna corta y se calcula el esfuerzo de trabajo por la ecuación (2.51).

$$\sigma_T = \left[ 1 - \frac{(L_e/r_g)^2}{2C_c^2} \right] \frac{\sigma_{pc}}{FS} \quad (2.51)$$

Donde el factor de seguridad está dado por la ecuación (2.52).

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3(L_e/r_g)}{8C_c} - \frac{(L_e/r_g)^3}{8C_c^3} \quad (2.52)$$

Si se cumple la ecuación (2.50), se tiene una columna larga y se calcula el esfuerzo de trabajo por la ecuación (2.53).

$$\sigma_T = \frac{12\pi^2 E}{23(L_e/r_g)^2} \quad (2.53)$$

Luego se determinó la carga crítica mediante la ecuación (2.54).

$$P_c = \sigma_T A_T \quad (2.54)$$

### 2.4.10.2 Diseño de vigas por flexión

Las vigas al estar soldadas se consideraron como elementos rígidos, por lo tanto, la viga se considera doblemente empotrada y es un caso estáticamente indeterminado. El diseño se realiza calculando los momentos en los extremos y determinando el modulo resistente necesario en la viga.

El momento en vigas con carga asimétrica está dado por las ecuaciones (2.55) y (2.56).

$$M_a = -\frac{qx_1x_2^2}{L_v} \quad (2.55)$$

$$M_b = -\frac{qx_1^2x_2}{L_v} \quad (2.56)$$

El momento en vigas con carga simétrica está dado por la ecuación (2.57).

$$M = -\frac{qL_v}{8} \quad (2.57)$$

El módulo resistente necesario está dado por la ecuación (2.58).

$$S_{x,n} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_f} \quad (2.58)$$

## **2.4.11 Selección de los accesorios adicionales**

### **2.4.11.1 Compuertas de explosión**

Habr ocasiones en las que no todas las máquinas del taller trabajen al mismo tiempo, por lo que se seleccionó una compuerta que permite restringir o ajustar el caudal de extracción en una máquina.

### **2.4.11.2 Agarraderas**

Se seleccionaron agarraderas para acoplar la manguera flexible a la campana de succión y a la entrada de la tubería rígida.

### **2.4.11.3 Soportes**

Para poder mantener a los ductos suspendidos se seleccionaron soportes en función del diámetro para luego ser acoplados a una barra fija colgando del techo del taller.

.....

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Caracterización del material particulado

Los resultados del análisis granulométrico del material particulado se muestran en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1: Caracterización de material particulado.**

[Elaboración propia]

Tamaño de partícula		Tamaño promedio	Masa	Rango de fracción
Min	Max			
um	um	um	g	%
0	75	37.5	6.88	1%
75	150	112.5	19.64	3%
150	300	225	44.48	6%
300	850	575	186.45	27%
850	1180	1015	94.84	14%
1180	2360	1770	139.51	20%
2360	4760	3560	81.33	12%
4760	9520	7140	61.03	9%
9520	16000	12760	55.83	8%
16000	>16000	16000	10.17	1%
			700.16	100%

### 3.2 Análisis de curva granulométrica del material particulado

La curva del análisis granulométrico mostrado en la Figura 3.1 dio como resultado un diámetro de partícula promedio de 1 mm ya que en este punto se encontraron la curva de fracción acumulativa cernida y retenida.





**Figura 3.1: Resultados del análisis granulométrico.**

[Elaboración propia]

### 3.3 Análisis estadístico de datos de muestra de material particulado

Se analizó la asimetría que presenta la distribución de probabilidad mediante la determinación del sesgo y de la curtosis con los datos de la muestra obtenida. Los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 3.2: Tercer y cuarto momento de Xi con respecto a  $\bar{X}$  con su frecuencia.**

[Elaboración propia].

Tamiz [um]	Masa [g]	Porcentaje	$\mu_3$	$fi*\mu_3$	$\mu_4$	$fi*\mu_4$
16000	10.17	1%	-214341.07	-3111.54	12827455.39	186212.97
9520	55.83	8%	-2854.83	-227.51	40498.58	3227.42
4760	61.03	9%	-725.60	-63.21	6520.27	568.01
2360	81.33	12%	1448.27	168.13	16385.69	1902.23
1180	139.51	20%	335615.44	66833.74	23323259.25	4644543.58
850	94.84	14%	15297.32	2070.88	379740.62	51407.57
300	186.45	27%	1578481.34	420097.70	183788896.53	48913655.68
150	44.48	6%	-16651.70	-1057.24	425217.84	26997.57
75	19.64	3%	-127841.26	-3583.94	6440131.29	180544.67
<75	6.88	1%	-251669.85	-2471.54	15889427.67	156043.31

**Tabla 3.3: Número de datos, desviación estándar, coeficiente de asimetría y de apuntamiento.**

[Elaboración propia].

n	s	$\alpha_3$	$\alpha_4$
10	57.90	0.68	0.48

Los resultados reflejan un coeficiente de asimetría de 0.68 lo que implica que la distribución de los datos de la muestra está orientada hacia los tamaños de partículas medianos y pequeños, es decir que la curva de concentración por tamaño de partícula se concentra en la parte izquierda con respecto a la media. Mientras que, el coeficiente de apuntamiento refleja que la distribución es platicúrtica, esto significa que en general las concentraciones de la muestra presentan una mayor dispersión con respecto a la media. Esto confirma que la muestra es fiable para la realización del diseño debido a que mantiene una relación con el análisis provisto en el estudio de Caracterización de aserrín de diferentes maderas (Serret-Guasch et al., 2016).

### 3.4 Niveles de concentración de material particulado PM2.5 y PM10

Del muestreo realizado en situ se tuvo como resultado que la concentración de material particulado en base seca para PM10 y PM2.5 fue de 8 mg/m<sup>3</sup> y 12 mg/m<sup>3</sup> respectivamente.

### 3.5 Densidad de la muestra

Para cada clasificación se realizaron tres mediciones de masa para hallar la densidad, los resultados se muestran en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4: Densidad aparente de la muestra para cada clasificación.**  
[Elaboración propia].

CLASIFICACIÓN	Masa	Masa promedio	Volumen	Densidad
	Kg	Kg	m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
Viruta amarilla gruesa	0.058	0.056	0.001	56
	0.056			
	0.054			
Viruta amarilla fina	0.050	0.050	0.0005	99
	0.049			
	0.051			
Polvo oscuro fino	0.162	0.160	0.0005	320
	0.159			
	0.160			
Polvo amarillo fino	0.062	0.061	0.0005	123
	0.062			
	0.061			

### 3.6 Caudales de extracción

Teniendo en cuenta las características de cada máquina, se seleccionó los caudales de extracción para la guarda superior y la inferior, dichos caudales se muestran en Tabla 3.5.

**Tabla 3.5 Caudales de extracción para cada máquina del taller.**

[Elaboración propia].

MÁQUINA	UBICACIÓN	CAUDAL EXTRACCIÓN	
		CFM	m3/s
Sierra de mesa	Superior	350	0.17
	Inferior	440	0.21
Canteadora	Superior	N/A	N/A
	Inferior	350	0.17
Péndulo	Superior	70	0.03
	Inferior	430	0.20
Péndulo	Superior	70	0.03
	Inferior	430	0.20
Péndulo	Superior	70	0.03
	Inferior	430	0.20
Péndulo	Superior	70	0.03
	Inferior	430	0.20
Múltiple	Superior	350	0.17
	Inferior	550	0.26
Múltiple	Superior	350	0.17
	Inferior	550	0.26
Múltiple	Superior	350	0.17
	Inferior	550	0.26
Cepillo	Superior	N/A	N/A
	Inferior	785	0.37
Pulidora	Superior	N/A	N/A
	Inferior	350	0.17

### 3.7 Succión en las máquinas

Con el fin de minimizar las pérdidas de presión en la succión de las máquinas se fijó el ángulo a 45°, con lo cual se tuvieron los valores mostrados en la Tabla 3.6 para las dimensiones representadas en la Figura 3.2.

Tabla 3.6: Valores para las dimensiones de las succiones en cada máquina.

[Elaboración propia].

Máquina		D1		D2		$\theta$	L
		mm	in	mm	in	°	mm
Sierra de mesa	Superior	140	6	102	4	45	46
	Inferior	152	6	102	4	45	60
Canteadora	Superior	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Inferior	140	6	102	4	45	46
Péndulo	Superior	64	3	51	2	45	16
	Inferior	152	6	102	4	45	60
Péndulo	Superior	64	3	51	2	45	16
	Inferior	152	6	102	4	45	60
Péndulo	Superior	64	3	51	2	45	16
	Inferior	152	6	102	4	45	60
Péndulo	Superior	64	3	51	2	45	16
	Inferior	152	6	102	4	45	60
Múltiple	Superior	140	6	102	4	45	46
	Inferior	180	7	127	5	45	64
Múltiple	Superior	140	6	102	4	45	46
	Inferior	140	6	127	5	45	16
Múltiple	Superior	140	6	102	4	45	46
	Inferior	180	7	127	5	45	64
Cepillo	Superior	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Inferior	200	8	152	6	45	58
Pulidora	Superior	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Inferior	140	6	102	4	45	46

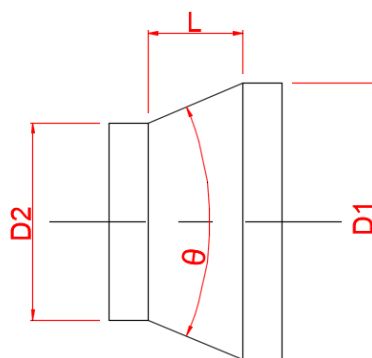


Figura 3.2: Representación de las dimensiones para la succión de las máquinas.

[Elaboración propia]

### **3.8 Guarda para las máquinas**

La representación de las guardas para las máquinas se muestra en el Apéndice F.

### **3.9 Sistema de ductos**

La Tabla B.1 ubicada en el Apéndice B muestra los resultados del dimensionamiento de los ductos junto con su velocidad de transporte, mientras que el plano resultante del sistema de ductos se muestra en el Apéndice E.

Debido al tipo de trabajo, velocidades de transporte altas y que el máximo diámetro de ducto del sistema es 400 mm, se eligió un espesor de plancha de 1.1 mm (Ditar, 2015).

### **3.10 Pérdidas de presión por fricción en los ductos**

Del cálculo mostrado en la Tabla B.3 ubicada en el Apéndice B se obtuvo como resultado una pérdida de presión debido a la fricción total de  $\Delta P_{f-ductos} = 5650.76 Pa$ .

### **3.11 Pérdidas de presión en los accesorios**

Del cálculo mostrado en la Tabla B.4 y la Tabla B.5 ubicadas en el Apéndice B, se obtuvo que la pérdida total de presión por los accesorios es de  $\Delta P_{acc} = 2136.75 Pa$ .

### **3.12 Diseño del ciclón**

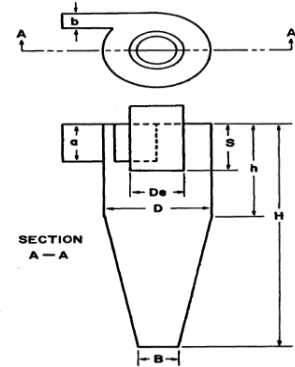
#### **3.12.1 Dimensiones del ciclón**

El caudal resultante de la sumatoria de todas las máquinas fue de 3.29 m<sup>3</sup>/s o 11858 m<sup>3</sup>/h, partiendo de dicho caudal se determinaron las dimensiones del ciclón mostradas en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Dimensiones del ciclón.

[Elaboración propia]

DIMENSIÓN	SÍMBOLO	UNIDAD	STAIRMAND
			ALTA EFICIENCIA
Diámetro	D	m	1.47
Altura Entrada	a	m	0.73
Ancho Entrada	b	m	0.29
Diámetro Salida	De	m	0.73
Longitud Salida	S	m	0.73
Altura Cilindro	h	m	2.20
Altura Total	H	m	5.87
Diámetro Salida Polvo	B	m	0.55



El plano detallado del ciclón se muestra en el Apéndice E.

### 3.12.2 Caída de presión en el ciclón

Tomando los valores de números de cabezales de entrada  $\Delta H = 6.4$ , densidad del gas  $\rho_g = 1.16 \frac{Kg}{m^3}$  (Çengel & Cimbala, 2014) y la velocidad a la entrada del ciclón  $V_{in} = 15.28 \frac{m}{s}$ , se obtuvo que la caída de presión a través del ciclón es  $\Delta P_{ciclón} = 868 Pa$ .

### 3.12.3 Velocidad máxima tangencial

Utilizando las dimensiones del ciclón previamente calculadas, se obtuvo como resultado un factor de geometría adimensional de  $C_l = 0.26$ , lo que conlleva a que la velocidad máxima tangencial sea  $V_{max} = 24.18 \frac{m}{s}$ .

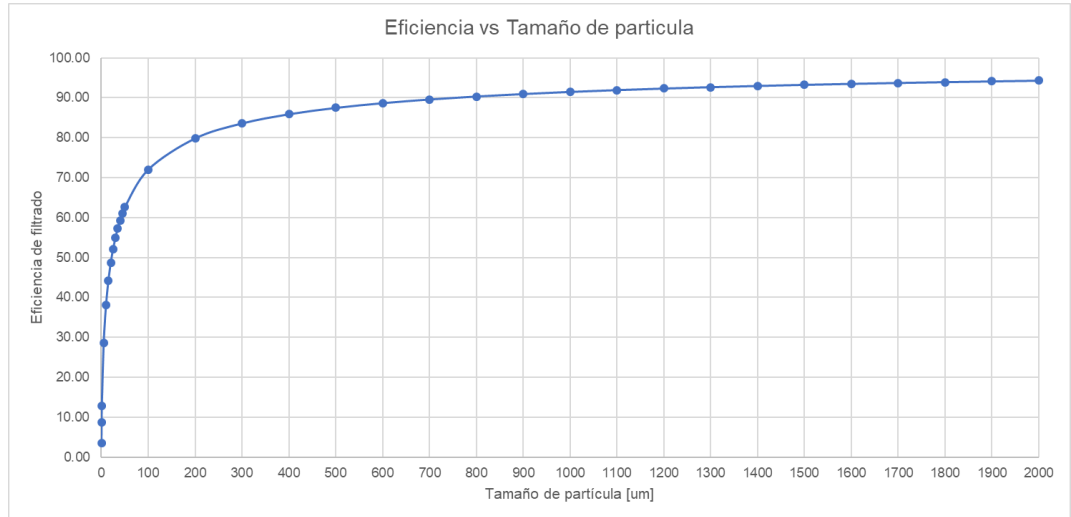
### 3.12.4 Longitud del núcleo

El diámetro del núcleo del ciclón es  $d_c = 1.36 m$ ; y, debido a que  $d_c > B$ , se utilizó la ecuación (2.25) para encontrar la longitud del núcleo, dando como resultado  $z_c = 1.91 m$ .

### 3.12.5 Eficiencia del ciclón

Se determinó el diámetro de corte utilizando el valor más alto de densidad de partícula mostrado en la Tabla 3.4, siendo este valor  $\rho_p = 320 \frac{Kg}{m^3}$ , luego, tomando el valor de la viscosidad dinámica del aire a las condiciones atmosféricas  $\mu = 1.8 \times 10^{-5} \frac{Kg}{m \cdot s}$  (Çengel & Cimbala, 2014) se obtuvo un diámetro de corte  $d_{50-cm} = 2.18 \times 10^{-3} cm$ , parámetro geométrico logístico

$C_\beta = 0.1$ , y un parámetro de pendiente logística  $\beta = 0.62$ , reemplazando estos datos en la ecuación (2.30) y graficando para diversos tamaños de partícula se obtuvo de manera gráfica la eficiencia de filtrado del ciclón para distintos tamaños de partículas mostrado en la Figura 3.3.



**Figura 3.3 Eficiencia del ciclón vs tamaño de partícula.**

**[Elaboración propia]**

Finalmente, con los resultados de la caracterización del material mostrados en la Tabla 3.1 se determinó la eficiencia global del ciclón mostrada en la Tabla 3.8, dando como resultado una eficiencia global  $\eta_{\text{global}}=91\%$ .

**Tabla 3.8 Eficiencias fraccional del ciclón en función del tamaño de partícula.**

[Elaboración propia]

Tamaño de partícula		Tamaño promedio		Rango de fracción	Eficiencia en tamaño promedio	Eficiencia fraccional
Min	Max	um	mm	%	%	%
um	um	um	mm	%	%	%
0	75	37.5	0.0375	1%	59%	1%
75	150	112.5	0.1125	3%	73%	2%
150	300	225	0.225	6%	81%	5%
300	850	575	0.575	27%	88%	23%
850	1180	1015	1.015	14%	91%	12%
1180	2360	1770	1.77	20%	94%	19%
2360	4760	3560	3.56	12%	96%	11%
4760	9520	7140	7.14	9%	97%	8%
9520	16000	12760	12.76	8%	98%	8%
16000		16000	16	1%	98%	1%
<b>EFICIENCIA GLOBAL DEL CICLÓN</b>					<b>91%</b>	

### 3.12.6 Concentración de material particulado remanente

Tomando como valor de concentración inicial  $12 \text{ mg/m}^3$  y reemplazando el valor de eficiencia global en la ecuación (2.31), se obtuvo una concentración de material particulado remanente en el taller de  $C_f = 1.1 \text{ mg/m}^3$ .

### 3.13 Selección del ventilador

Se obtuvo una caída de presión total de  $8655.51 \text{ Pa}$  o  $35 \text{ inH}_2\text{O}$ , con un caudal resultante de  $3.29 \text{ m}^3/\text{s}$  o  $6975 \text{ cfm}$ , se seleccionó el ventilador centrífugo con álabes a reacción, modelo: CASB-X 710-60, motor: 45 KW 60Hz, marca: Sodeca.

### 3.14 Diseño de tolva de almacenamiento

#### 3.14.1 Dimensiones de la tolva

El análisis granulométrico reflejó el tamaño de partícula promedio con el cual se seleccionó de la Tabla 2.6 la primera opción con partículas de tamaño mayor a  $0.2 \text{ mm}$ , se cotejó estos resultados con los del estudio de Mechanical properties of sawdust and woodchips (Stasiak et al., 2015) y se



determinó que la concentración es bastante aproximada y por la calidad de madera similar que utilizan se utilizó sus datos de ángulos de fricción interna para nuestro diseño. Esto dio como resultado ángulos de fricción de pared tanto para polvo como para viruta. De la Figura 2.18 se obtuvo el ángulo de descarga mínimo para flujo másico. Estos resultados son apreciables en la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9: Resultados de ángulo de fricción de pared y ángulo de descarga mínimo.**

[Elaboración propia]

	Sawdust	Woodchips
Densidad aparente [kg/m <sup>3</sup> ] (50% m.c.)	320	320
Ángulo de fricción interna ( $\phi$ )	27	33
Ángulo efectivo de fricción interna ( $\phi$ )	34	42
Ángulo de fricción de pared ( $\delta$ )	16.2	19.8
Ángulo de descarga mínimo ( $\theta$ )	30	24

Debido a que los ángulos de fricción de pared tanto de polvo como de viruta no superan los 30° y están por encima de 10°, se utilizó el gráfico de la Figura 2.19 para estimar el factor de flujo. En la Tabla 3.10 se aprecian estos resultados.

**Tabla 3.10: Factores de flujo de polvo y viruta.**

[Elaboración propia]

	Sawdust	Woodchips
Factor de flujo (ff)	1.710	1.470

Los resultados de función de flujo y función de factor de flujo se presentan en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11: Función de flujo de material y Función factor de flujo del sistema para polvo y viruta.**

**[Elaboración propia]**

<b>Sawdust</b>			
<b>Función de flujo de material (MFF)</b>		<b>Función factor de flujo del sistema (1/ff)</b>	
Esfuerzo máximo normal ( $\sigma$ ) [kPa]	Esfuerzo de material no confinado ( $f_c$ ) [kPa]	Esfuerzo máximo normal ( $\sigma$ ) [kPa]	$\sigma/ff$ [kPa]
0	0.000	0	0.000
1	1.000	1	0.585
2	1.223	2	1.170
3	1.376	3	1.754
<b>Woodchips</b>			
<b>Función de flujo de material (MFF)</b>		<b>Función factor de flujo del sistema (1/ff)</b>	
Esfuerzo máximo normal ( $\sigma$ ) [kPa]	Esfuerzo de material no confinado ( $f_c$ ) [kPa]	Esfuerzo máximo normal ( $\sigma_1$ ) [kPa]	$\sigma/ff$ [kPa]
0	0.000	0	0.000
1	1.000	1	0.680
2	1.283	2	1.361
3	1.485	3	2.041

Utilizando los resultados de la Tabla 3.11 se realizó el gráfico para determinar el CAS tanto para polvo como viruta el cual se aprecia en la Figura 3.4 y Figura 3.5.

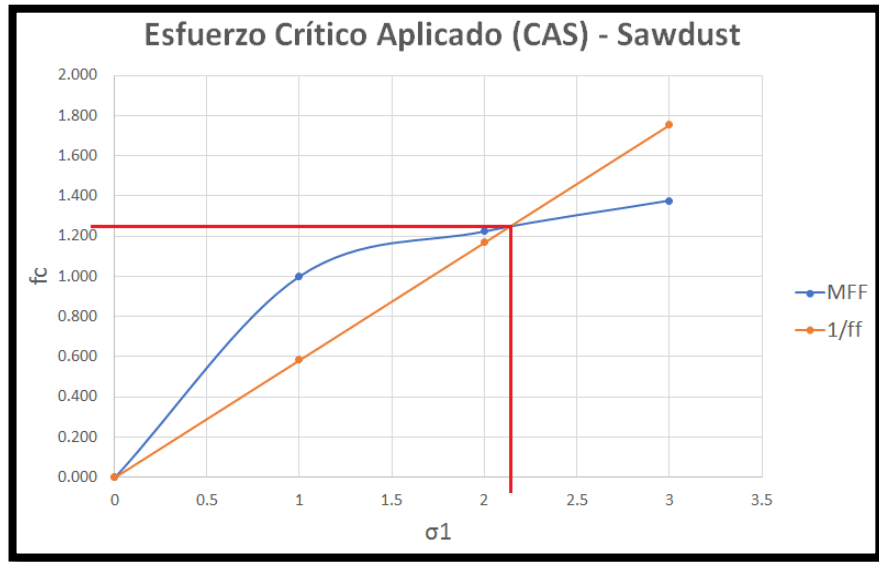


Figura 3.4: Gráfico de Esfuerzo Crítico Aplicado para polvo de madera.  
[Elaboración propia].

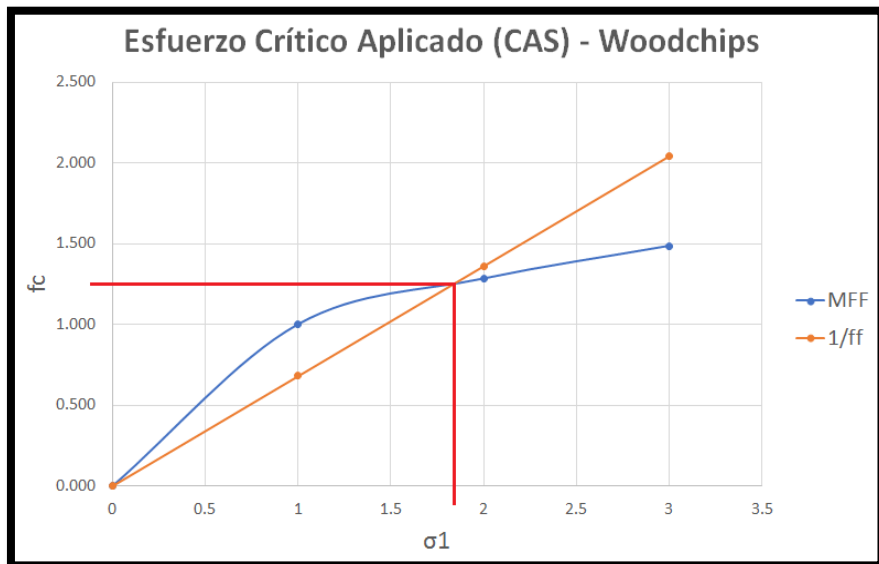


Figura 3.5: Gráfico de Esfuerzo Crítico Aplicado para viruta de madera.  
[Elaboración propia].

La intersección de las curvas de función de flujo y función de factor de flujo da el valor del CAS que buscamos, los resultados son:

**Tabla 3.12: Esfuerzo Crítico Aplicado (CAS) para polvo y viruta de madera.**

[Elaboración propia].

	Sawdust	Woodchips
CAS [kPa]	1.250	1.270

Los diámetros de descarga obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 3.13: Diámetros de descarga mínimo.**

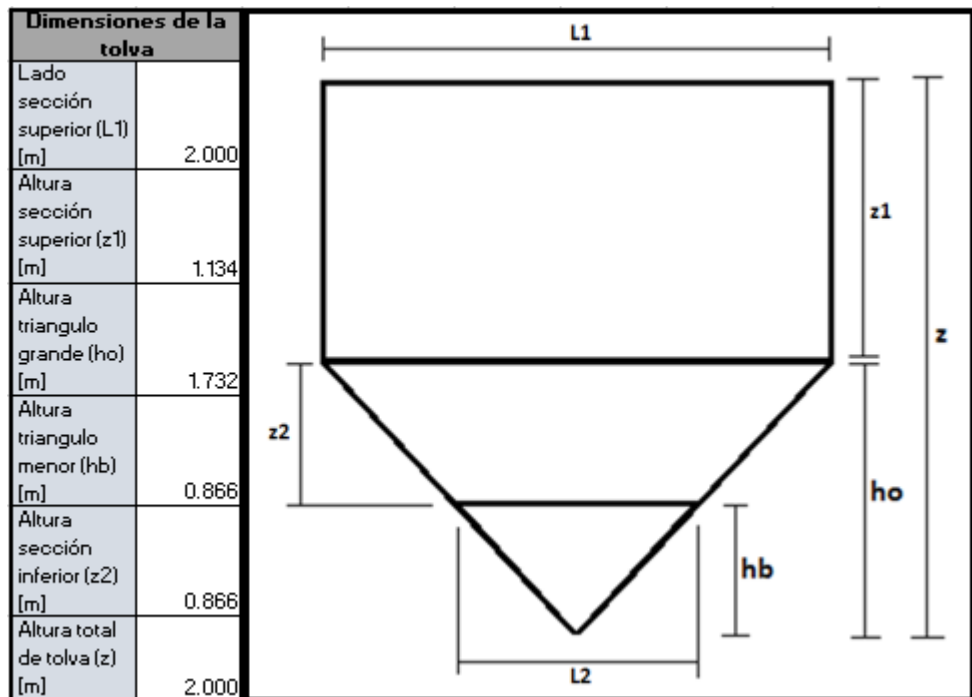
[Elaboración propia].

Estimación de ancho de descarga de la tolva		
	Sawdust	Woodchips
Diámetro de descarga (Dd) [m]	0.995	0.971
Diámetro hidráulico de descarga (Dh) [m]	0.995	0.971
Dimensión sección inferior mínimo (bmin) [m]	0.995	0.971
Dimensión nominal sección inferior (L2) [m]	1.000	1.000

Se aprecia que para ambos casos el diámetro nominal quedo en 1m, por consiguiente, las dimensiones finales de la tolva son:

**Tabla 3.14: Dimensiones de tolva.**

[Elaboración propia].



### 3.14.2 Espesor de pared de tolva

Los resultados del esfuerzo que se ejerce sobre el fondo de la tolva debido al peso del material dado por la ecuación (2.39) y la presión de pared dado por la ecuación (2.44) se encuentran en la Tabla 3.15.

**Tabla 3.15: Cálculos de esfuerzos en la tolva.**

[Elaboración propia].

	Sawdust	Woodchips
K1	0.400	0.400
K2	0.283	0.198
K3	0.524	0.381
Presión en el fondo de la tolva (Pv) [kPa]	3.860	3.905
Presión en la pared de la tolva (Pw) [kPa]	2.021	1.562

Se aprecia que el polvo genera una mayor presión sobre la tolva cuando este está asentado en el lecho del material en la tolva, se utiliza el esfuerzo mayor sobre la pared para hacer la selección. El resultado del espesor de pared dado por la ecuación (2.44) se da a continuación:

**Tabla 3.16: Espesor de plancha de tolva.**

[Elaboración propia].

Estimación de espesor de plancha para tolva	
Esfuerzo de fluencia (ASTMA36) [Mpa]	250
Espesor de pared mínimo ( $t_{min}$ ) [mm]	0.004
Espesor de pared ( $e_p$ ) [mm]	2.000

### 3.14.3 Capacidad de tolva

El resultado de la capacidad de la tolva dado por la ecuación (2.45) y la ecuación (2.46) se detalla a continuación:

**Tabla 3.17: Capacidad de tolva.**

[Elaboración propia].

Cálculo de capacidad de tolva	
Área sección superior (A1) [m <sup>2</sup> ]	4.000
Área sección inferior (A2) [m <sup>2</sup> ]	1.000
Capacidad (VT) [m <sup>3</sup> ]	6.557
Capacidad de carga neta (M) [ton]	2

### 3.14.4 Tasa de descarga de tolva

Para el cálculo de Tasa de descarga de la tolva se empleó la ecuación (2.47), la cual está en términos del factor de forma, según el estudio de Storage and Flow of Particulate Solids (Tomas, 2015) el factor de forma para tolvas de tipo cónicas es uno ( $m=1$ ) dio como resultado:

**Tabla 3.18: Tasa de descarga de tolva.**

[Elaboración propia].

Cálculo de tasa de flujo de descarga de tolva	
Taza de descarga (m) [kg/s]	660

### 3.15 Diseño de plataforma de ventilador y de torre de ciclón-tolva

Se comprobó si los perfiles seleccionados para las columnas y las vigas de ambas estructuras son los adecuados, los resultados fueron:

**Tabla 3.19: Detalle de cargas en columnas de cada estructura.**

[Elaboración propia]

	Estructura	
	Plataforma de ventilador	Torre de ciclón/tolva
Peso de equipos [kg]	755	795
Peso de operadores de mantenimiento [kg]	360	360
Peso de material almacenado [kg]	0	2000
Peso de acoples y accesorios [kg]	150	300
Peso de estructura [kg]	791	444
<b>Carga total aplicada [kN]</b>	<b>20.2</b>	<b>38.2</b>

**Tabla 3.20: Selección de perfil para columnas de plataforma de ventilador.**

[Elaboración propia]

Diseño de falla por pandeo de columnas de plataforma de ventilador												
Perfil	σpc [MPa]	At [cm <sup>2</sup> ]	Cc	K	rg [mm]	L [mm]	Le/rg	FS	σT [MPa]	Pc [kN]	Precio [USD/6m]	Precio Total [USD]
IPN100 ASTM A36	250	10.6	125.7	0.5	10.7	3136.0	146.5	1.9	48.0	50.8	56.5	226.0
IPN120 ASTM A36	250	14.2	125.7	0.5	12.3	3136.0	127.5	1.9	63.4	90.0	75.4	301.6
IPN140 ASTM A36	250	18.2	125.7	0.5	13.9	3136.0	112.8	2.1	71.3	129.8	96.9	387.6

**Tabla 3.21: Selección de perfil para columnas de torre de ciclón-tolva.**

[Elaboración propia]

Diseño de falla por pandeo de columnas de plataforma de ventilador												
Perfil	σpc [MPa]	At [cm <sup>2</sup> ]	Cc	K	rg [mm]	L [mm]	Le/rg	FS	σT [MPa]	Pc [kN]	Precio [USD]	Precio Total [USD]
IPN100 ASTM A36	250	10.6	125.7	0.5	10.7	2790.0	130.4	1.9	60.6	64.2	56.5	113.0
IPN120 ASTM A36	250	14.2	125.7	0.5	12.3	2790.0	113.4	2.1	70.7	100.3	75.4	150.8
TUBO CUAD. 100x3mm ASTM A500 Gr. B	250	11.4	125.7	0.5	39.4	2790.0	35.4	1.8	135.2	154.2	60.7	121.5

**Tabla 3.22: Detalle de cargas en vigas de cada estructura.**

[Elaboración propia]

	Estructura	
	Plataforma de	Torre de ciclón/tolva
Peso de equipos [kg]	755	795
Peso de operadores de mantenimiento [kg]	360	360
Peso de material almacenado [kg]	0	2000
Peso de acoples y accesorios [kg]	150	300
Peso de estructura [kg]	791	444
<b>Carga neta aplicada [kN]</b>	<b>5.0</b>	<b>9.6</b>



**Tabla 3.23: Selección de perfil para vigas de plataforma de ventilador.**

[Elaboración propia]

Diseño de falla por flexión de vigas principales de plataforma de ventilador										
Perfil		q [kN]	x1 [mm]	x2 [mm]	Lv [mm]	Ma [kN.m]	Mb [kN.m]	$\sigma_f$ [MPa]	Sx,n [cm <sup>3</sup> ]	Sx [cm <sup>3</sup> ]
Larga	IPN100 ASTM A36	5.0	502	2998	3500	-1.86	-0.31	250	7.43	34.20
Corta	IPN100 ASTM A37	5.0	1248	952	3500	-0.47	-0.61	250	2.44	34.20

**Tabla 3.24: Selección de perfil para vigas de torre de ciclón-tolva.**

[Elaboración propia]

Diseño de falla por flexión de vigas de amarre de torre de ciclón-tolva						
Perfil	q [kN]	Lv [mm]	M [kN.m]	$\sigma_f$ [MPa]	Sx,n [cm <sup>3</sup> ]	Sx [cm <sup>3</sup> ]
IPN100 ASTM A36	9.6	2200	-2.63	250.0	10.52	34.20

Se seleccionaron perfiles laminados IPN100 para las columnas y las vigas principales de la plataforma, para la torre de ciclón-tolva se seleccionó tubo cuadrado de 100x3mm debido a su alta resistencia y bajo costo en comparación con otros perfiles y perfil laminado IPN100 para las vigas de amarre. El resto de materiales seleccionados para ambas estructuras se puede apreciar en el detalle de materiales en los planos ubicados en el Apéndice E.

### 3.16 Análisis de tiempos no productivos de limpieza

Se tuvo como resultado que con la implementación del sistema de extracción de material particulado se puede lograr una reducción del tiempo no productivo por limpieza de máquinas del 73%, por otro lado, con el extractor portátil se obtuvo un incremento del 110% en tiempo de limpieza., dichos resultados se muestran en la Tabla 3.25.

**Tabla 3.25: Resultados del análisis de tiempos no productivos por limpieza de máquinas.**

[Elaboración propia]

ACTUAL	SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE MP	EXTRACTOR PORTÁTIL
Tiempo no productivo por limpieza al día	Tiempo no productivo por limpieza al día	Tiempo no productivo por limpieza al día
h	h	h
3	0.8	6.3
<b>PORCENTAJE DE REDUCCIÓN EN TIEMPO DE LIMPIEZA</b>	<b>-73%</b>	<b>110%</b>

### 3.17 Análisis de costos

Los costos relacionados a los materiales y fabricación del sistema se muestran en la Tabla 3.26.

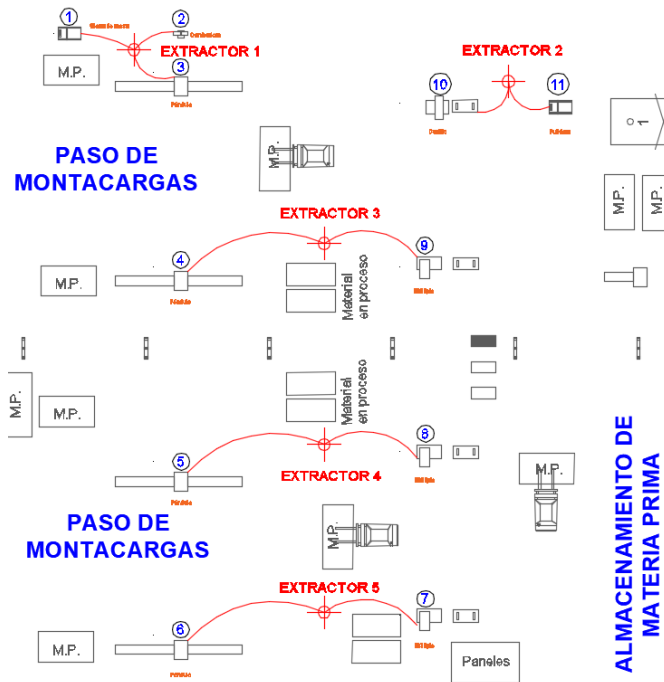
**Tabla 3.26: Costos relacionados a materiales y fabricación del sistema.**

[Elaboración propia]

Descripción	Material	Fabricación y Montaje	Montaje	Total
	\$	\$	\$	\$
Ductos	\$ 781.10	\$ 1,562.19	\$ 937.31	\$ 3,280.60
Ramales	\$ 141.00	\$ 112.80	\$ 169.20	\$ 423.00
Ciclón	\$ 871.28	\$ 1,045.53	\$ -	\$ 1,916.81
Tolva	\$ 1,320.53	\$ 660.27	\$ -	\$ 1,980.80
Succiones	\$ 47.00	\$ 37.60	\$ -	\$ 84.60
Ductos flexibles ATEX	\$ 877.73	\$ -	\$ -	\$ 877.73
Blastgates	\$ 333.02	\$ -	\$ -	\$ 333.02
Soportes flotantes	\$ 348.88	\$ -	\$ 418.65	\$ 767.53
Soportes fijos	\$ 22.19	\$ 17.75	\$ 26.63	\$ 66.57
Bastidores	\$ 1,048.56	\$ 985.60	\$ 1,478.40	\$ 3,512.56
Ventilador	\$ 17,240.00	\$ -	\$ 3,448.00	\$ 20,688.00
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>\$33,931.22</b>

Por otro lado, se podría recolectar el material particulado mediante la implementación de 5 extractores portátiles ubicados en sitios estratégicos

del taller mostrados en la Figura 3.6, el costo de implementación de dicha alternativa se muestra en la Tabla 3.27



**Figura 3.6: Ubicación de los extractores portátiles en el taller.**  
[Elaboración propia]

**Tabla 3.27: Costos relacionados a la alternativa 2.**  
[Elaboración propia]

Descripción	Total
	\$
5 Extractores portátiles, capacidad 63 galones c/u	\$ 10,950.10
Ductos flexibles ATEX	\$ 877.73
Succiones	\$ 84.60
<b>COSTO ALTERNATIVA: EXTRACTORES PORTÁTILES</b>	<b>\$11,912.43</b>

Finalmente, comparando las dos alternativas en la Tabla 3.28 se puede ver que, si bien la adquisición de extractores portátiles es más económica, esto representará más tiempo no productivo por limpieza de máquinas para la empresa.

**Tabla 3.28: Comparación entre alternativas.**

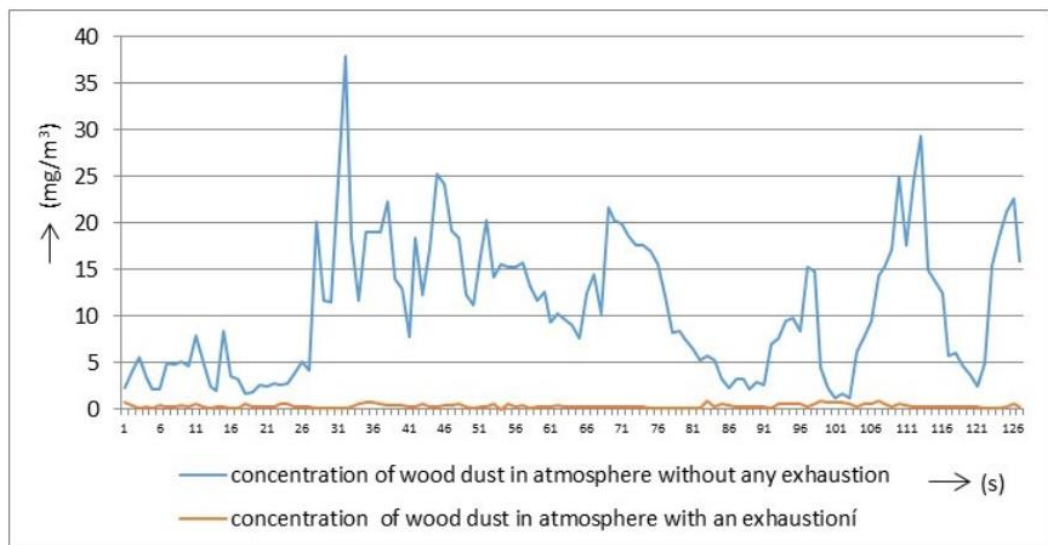
[Elaboración propia]

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	Inversión	Reducción Tiempo no operativo por limpieza de máquinas al día
	\$	%
Sistema de extracción	\$ 33,931.22	-73%
Extractores portátiles	\$ 11,912.43	110%

### 3.18 Validación de resultados

#### 3.18.1 Concentración de material particulado

La concentración de material particulado resultante del muestro en el taller fue de  $12 \text{ mg/m}^3$ , dicho valor se comparó con un estudio realizado sobre la creación de polvo de madera de roble durante su procesamiento observando la Figura 3.7 se puede ver que en dicho estudio la concentración promedio de material particulado sin un sistema de extracción fue de  $15 \text{ mg/m}^3$ .



**Figura 3.7: Concentración de material particulado antes y después de un sistema de extracción.**

[(*Creation of wood dust during wood processing*, 2016).]

Por otro lado, tomando los valores teóricos de la concentración de material particulado según el tipo de máquina del taller, se obtuvo como resultado de la Tabla 3.29 que en promedio la concentración global de material particulado en el taller es de 12.81 mg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 3.29: Concentración de material particulado según el tipo de máquina.**

[(Proto et al., 2015)]

Máquina	Concentración MP		Concentración MP promedio	Cantidad de máquinas	Concentración MP resultante
		mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	Unidad	mg/m <sup>3</sup>
Canteadora	Máx	1.30	0.71	1.00	0.71
	Min	0.11			
Múltiple	Máx	2.80	1.49	3.00	4.47
	Min	0.18			
Cepillo	Máx	2.50	1.32	1.00	1.32
	Min	0.14			
Pulidora	Máx	4.20	2.21	1.00	2.21
	Min	0.21			
Péndulo	Máx	1.40	0.78	4.00	3.10
	Min	0.15			
Sierra de mesa	Máx	1.90	1.01	1.00	1.01
	Min	0.11			
<b>Concentración MP global</b>					<b>12.81</b>

Por último, la comparación entre el estado actual del taller con los dos estudios se muestra en la Tabla 3.30.

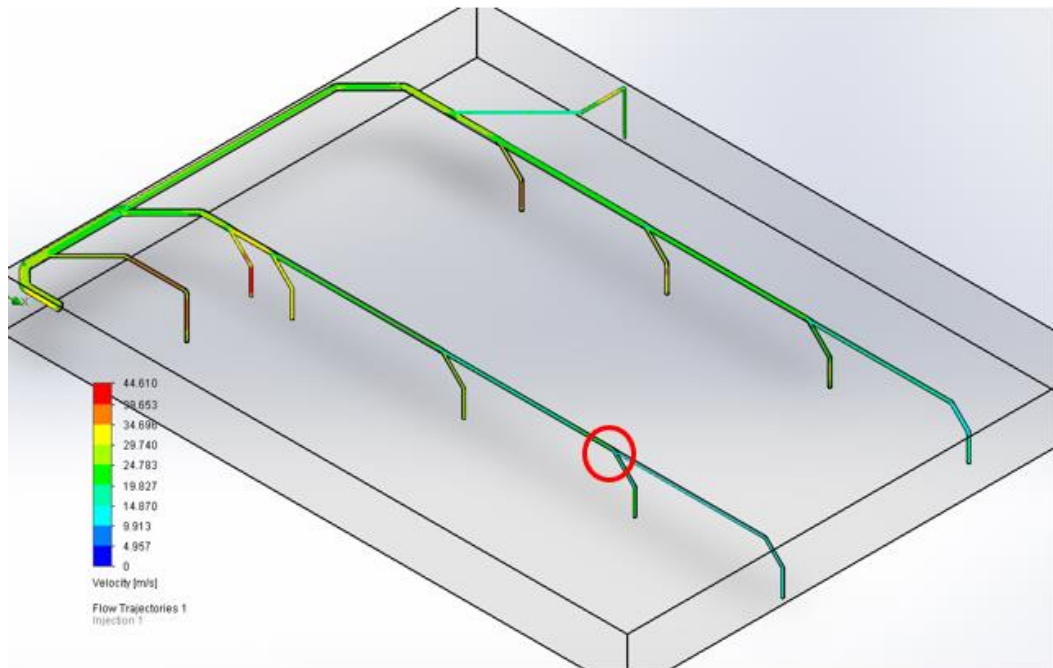
**Tabla 3.30: Comparación de la concentración de material particulado entre distintos estudios.**

[Elaboración propia].

PROYECTOS	Concentración MP	Porcentaje de error con respecto al taller actual
	mg/m <sup>3</sup>	%
Taller actual	12	-
ESTUDIO 1: Procesamiento de roble	15	20%
ESTUDIO 2: Concentración MP para distintos tipos de máquinas	12.81	6%

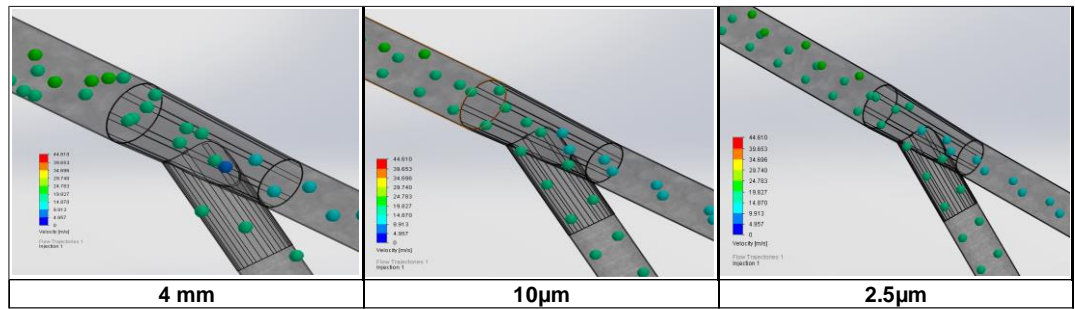
### 3.18.2 Sistema de ductos

La simulación por elementos finitos mostrada en la Figura 3.8 dio como resultado que en la mayoría de secciones la velocidad de transporte se mantiene en un rango de 20 m/s a 23 m/s, lo cual es lo recomendable por el manual de ACGIH, pero en los ramales verticales más cercanos al ramal principal se tienen una velocidad más elevada.



**Figura 3.8: Simulación de la velocidad a través del sistema de ductos.  
[Elaboración propia].**

La Figura 3.8 muestra también una zona de riesgo encerrada con rojo en donde se tuvieron velocidades muy bajas, por lo tanto, se realizó un estudio de inyección de partículas para determinar si existe o no una acumulación de material. Los resultados de dicho estudio se muestran en la Figura 3.9, teniendo como principal resultado que para partículas de 4  $\mu\text{m}$  en adelante se presentó un punto azul, mientras que para las partículas de 10  $\mu\text{m}$  y 2.5  $\mu\text{m}$  el material continuó transportándose, pero a una velocidad menor a la recomendable.

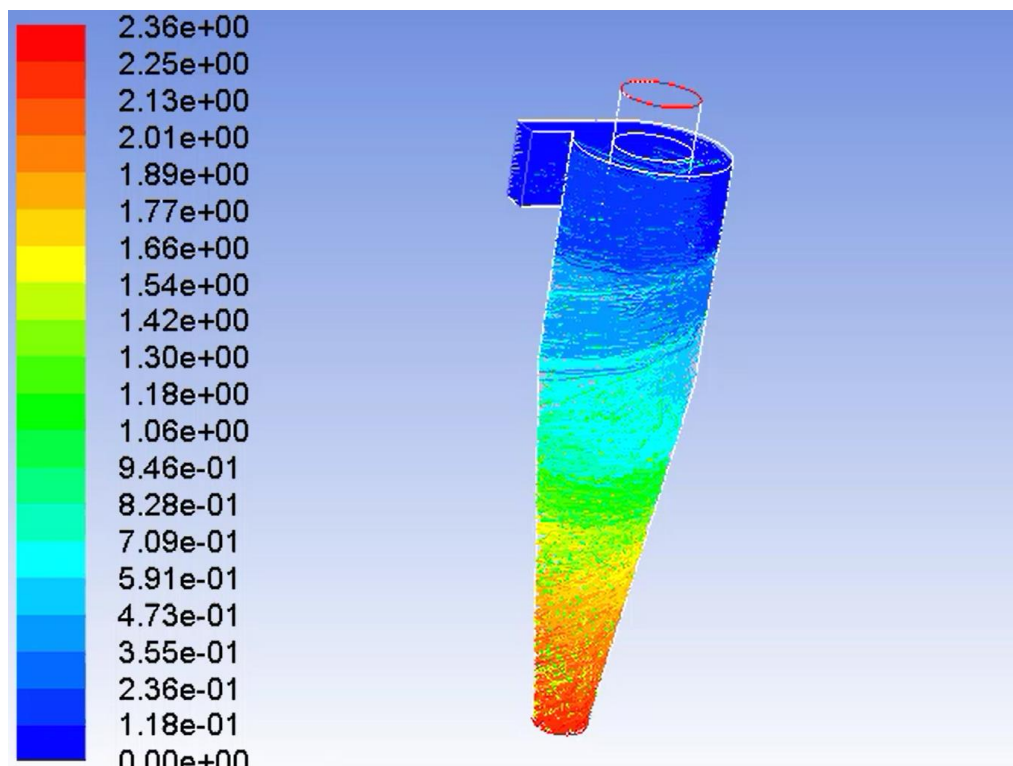


**Figura 3.9: Análisis del transporte de partículas a través de la zona crítica para distintos tamaños.**

[Elaboración propia]

### 3.18.3 Ciclón

**Diámetro de partícula: 4mm**

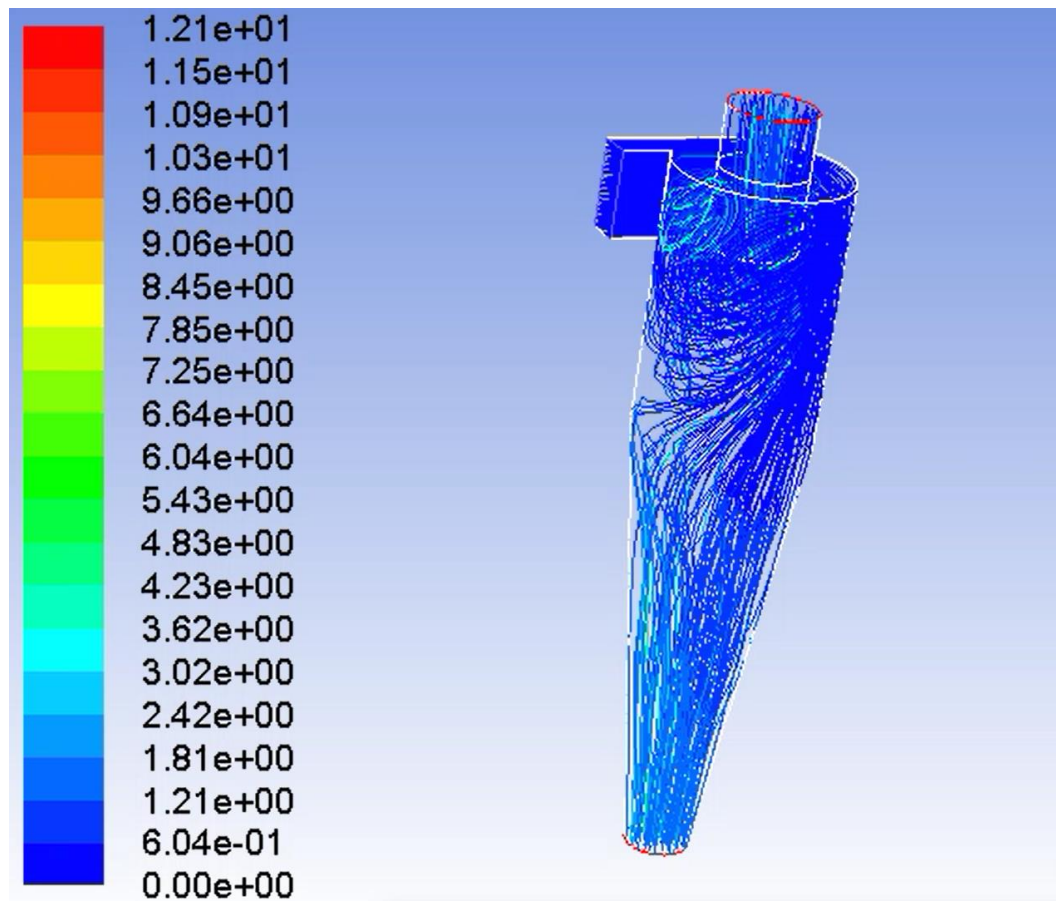


**Figura 3.10: Tiempo de permanencia del material durante el filtrado para partículas de tamaño 4 mm.**

[Elaboración propia]

La Figura 3.10 muestra el tiempo de permanencia de una partícula de 4 mm mientras esta se mueve a través del ciclón, se puede ver que la partícula cae en forma de espiral en su totalidad.

**Diámetro de partícula: 10  $\mu\text{m}$**



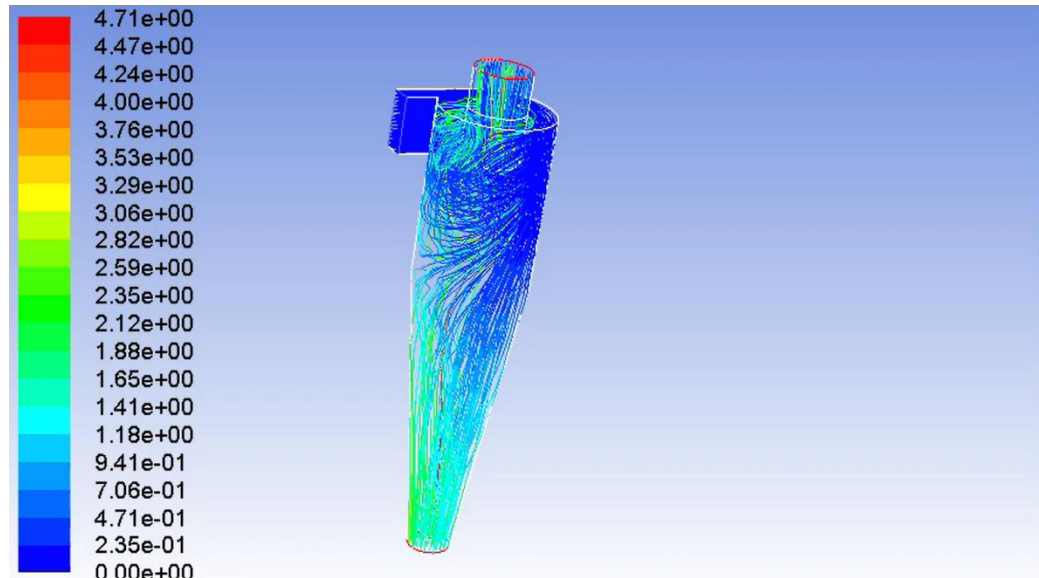
**Figura 3.11: Tiempo de permanencia del material durante el filtrado para partículas de tamaño 10  $\mu\text{m}$ .**

**[Elaboración propia]**

La Figura 3.11 muestra una caída del material de manera más abrupta de manera no uniforme, además, se puede ver en este caso que una parte del material particulado se escapa del ciclón.



### Diámetro de partícula: 2.5 µm



**Figura 3.12: Tiempo de permanencia del material durante el filtrado para partículas de tamaño 2.5 µm.**

**[Elaboración propia].**

La Figura 3.12 muestra una caída de abrupta del material de manera no uniforme, también se puede ver que las partículas se demoran más en caer y una mayor cantidad de material se escapa en comparación con el PM10.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Partiendo de la concentración de material particulado obtenida de las mediciones, se concluye que actualmente los trabajadores del área están sujetos a enfermedades respiratorias y no cumplen con la normativa OSHA para talleres de madera, pero gracias a la eficiencia de filtrado del sistema de extracción se podría mejorar la calidad de aire en el taller y de esta manera reducir los casos de enfermedades respiratorias que se generan al año.

Con la concentración remanente de material particulado de  $1.1 \text{ mg/m}^3$  se cumple con el valor permisible de  $\text{TWA}=5 \text{ mg/m}^3$  estipulado por la OSHA, por lo que la mejoría en la calidad del aire es evidente y no es estrictamente necesaria la colocación de un filtro de mangas a la salida del ciclón.

Se concluye de la comparación entre el estado actual del taller y distintos estudios bibliográficos mostrada en la Tabla 3.30 que la concentración actual del taller es un valor esperable, ya que, debido al tipo de máquinas que este posee y comparando sus niveles de concentración con valores teóricos se obtuvo un porcentaje de error del 6%, por otro lado, si bien  $15 \text{ mg/m}^3$  es cercano a  $12 \text{ mg/m}^3$ , se dio un porcentaje de error del 20% debido a que en el taller actual no trabajan con roble.

Al momento que el material particulado se esté transportando a través de los ductos, existirán un punto en los que se podría crear una acumulación de material mostrado en la Figura 3.8, se concluye en este caso que para partículas mayores a  $4 \text{ mm}$  se puede dar el caso de acumulación de material en dicha zona lo que incurriría en un aumento en la presión que debe vencer el ventilador para realizar la succión.

Se concluye que, si bien la implementación del proyecto es costosa en comparación con extractores portátiles, esta representa un aumento en la producción del taller gracias a su reducción de tiempo no productivo por limpieza de máquinas.

## **4.2 Recomendaciones**

Con el propósito de tener una solución rápida y económica a corto plazo para la extracción de los desechos de madera, se recomienda adquirir un extractor portátil y colocarlo de tal manera que pueda absorber el polvo y viruta de madera de tres máquinas aledañas, cabe recalcar que se tendrán que realizar varias paradas para retirar los residuos de madera del contenedor del extractor, pero de esta forma se podría determinar si dicho trabajo representa una molestia para el operador o una forma de distracción para realizar su trabajo.

Con la concentración remanente de material particulado queda demostrado que no se necesita un filtro de mangas a la salida del ciclón ya que se cumple con la normativa, pero al ver la simulación con elementos finitos del filtrado del material dentro del ciclón, se notó que una cantidad no considerable de partículas PM2.5 se escapa del ciclón, por lo que la instalación de un filtro de mangas a la salida del ciclón queda a disposición del cliente.

Para solucionar el posible problema de acumulación de material en la zona crítica, se recomienda cambiar el ángulo del ramal de 45° a 30° o reducir el diámetro del ducto para aumentar su velocidad.

El polvo y viruta de madera que se genera en el taller puede ser utilizado para varias aplicaciones y representar una fuente de ingreso extra para el taller, por lo que se recomienda realizar un estudio de factibilidad para la reutilización del desecho de madera generado en el taller.

# BIBLIOGRAFÍA

American Institute of Steel Construction (Ed.). (2011). *Steel construction manual* (Fourteenth edition). American Institute of Steel Construction.

ASHRAE. (s/f).

CASB-X - Sodeca. (s/f). Recuperado el 22 de enero de 2020, de <https://www.sodeca.com/es/productos/casb-x-p512?cs=12&fil=50#prod>

CDC - NIOSH 1988 OSHA PEL Project Documentation: List by Chemical Name: WOOD DUST. (2018, septiembre 18). <https://www.cdc.gov/niosh/pel88/wooddust.html>

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications* (Third edition). McGraw Hill.

Committee on Industrial Ventilation. (1998). *Industrial ventilation: A manual of recommended practice*. ACGIH.

*Creation of wood dust during wood processing: Size analysis, dust separation, and occupational health :: BioResources*. (s/f). Recuperado el 19 de enero de 2020, de <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/>

Ditar. (2015). *Normativa de ductos en plancha metálica para transporte de aire*. [http://www.ditar.cl/archivos/Norma\\_Ductos.pdf](http://www.ditar.cl/archivos/Norma_Ductos.pdf)

Duterm (2019). *Catálogo de productos*. Recuperado el 17 de diciembre de 2019 de <https://www.duterm.com/productos>

Fayed, M. E., & Otten, L. (Eds.). (1997). *Handbook of powder science & technology* (2nd ed). Chapman & Hall.

International Agency for Research on Cancer (Ed.). (1995). *Wood dust and formaldehyde: Views and expert opinions of an IARC Working Group on the*

*Evaluation of Carcinogenesis Risks to Humans, which met in Lyon, 11 - 18 October 1994.*

Iozia, D. L., & Leith, D. (1989). Effect of Cyclone Dimensions on Gas Flow Pattern and Collection Efficiency. *Aerosol Science and Technology*, 10(3), 491–500.  
<https://doi.org/10.1080/02786828908959289>

*IS 9178-1 (1979): Criteria for Design of Steel Bins for Storage of Bulk Materials, Part 1: General Requirements and Assessment of Loads.* (s/f). 32.

J.L. Amorós, G. Mallol, E. Sánchez, & J. García. (2000). *Design of bins and hoppers for the storage of particulate materials. Problems associated with the discharge operation.*

Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT. (1982). *Manual de diseño para maderas del grupo andino* (1a ed., Vol. 1).

*M400 Micro-Environmental Monitor.* (s/f). Recuperado el 18 de noviembre de 2019, de <https://www.ecotech.com/product/particulates/aerosol-research-instruments/msp/m400-micro-environmental-monitor>

Márquez Quizhpi, A. A., & Ulloa Montero, J. P. (2018). *Diseño de un sistema de extracción de polvo y viruta de madera para la carpintería de la Fundación Salesiana “PACES”* [Tesis de Grado]. Universidad Politécnica Salesiana.

Meikle, J. (2011, junio 7). Health and safety officials to investigate woodworkers' risk of nasal cancer. *The Guardian*.  
<https://www.theguardian.com/society/2011/jun/07/woodworkers-nasal-cancer-health-safety>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, MIDUVI. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de madera de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015* (1a ed., Vol. 4). Imprenta Activa.

Nivelo Chalco, J. P., & Ugalde Pacheco, J. E. (2011). *Diseño de un sistema de extracción de polvo para la empresa INSOMET (división TELARTEC, productora de telas de poli-algodón); perteneciente al Grupo Empresarial Gerardo Ortiz Cía. Ltda.* [Tesis de Grado]. Universidad Politécnica Salesiana.

NTP (National Toxicology Program). (2016). *Report on Carcinogens, Fourteenth Edition.* [Congressionally mandated]. NTP (National Toxicology Program). <https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/wooddust.pdf>

Proto, A. R., Zimbalatti, G., & Negri, M. (2015). *THE MEASUREMENT AND DISTRIBUTION OF WOOD DUST.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2673.4807>

Pytel, A., & Singer, F. L. (1994). *Resistencia de materiales: Introducción a la mecánica de sólidos.* Harla.

*Red de Estaciones Automáticas | INAMHI.* (2019). <http://186.42.174.236/InamhiEmas/#>

Serret-Guasch, N., Giralt-Ortega, G., & Quintero-Ríos, M. (2016). Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *Tecnología Química*, 36(3), 395–405. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2224-61852016000300012&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2224-61852016000300012&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

Shepherd, C. B., & Lapple, C. E. (1940). Flow Pattern and Pressure Drop in Cyclone Dust Collectors Cyclone without Intel Vane. *Industrial & Engineering Chemistry*, 32(9), 1246–1248. <https://doi.org/10.1021/ie50369a042>

Stasiak, M., Molenda, M., Bańda, M., & Gondek, E. (2015). Mechanical properties of sawdust and woodchips. *Fuel*, 159, 900–908. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.07.044>

Sub-sector Transformadores y comercializadores de madera en el Ecuador. (2007). *Planificación estratégica transformación y comercialización de madera en el Ecuador.*

- TheBlastGateCompany (2019). *Spiral Pipe & Fittings*. Recuperado el 17 de diciembre del 2019 de <https://www.blastgateco.com/Spiral-Pipe-Fittings.php>
- Tomas, D. J. (2015). *Storage and Flow of Particulate Solids*. 6.
- U.S. Department of Labor, & Occupational Safety and Health Administration. (1999). *A Guide for Protecting Workers from Woodworking Hazards*.
- Wang, L. K., Pereira, N. C., Hung, Y.-T., & Li, K. H. (2010). *Air pollution control engineering*. Humana Press.
- Watson, J., Chow, J., & Pace, T. G. (2000). *Fugitive dust emissions* (pp. 117–135).
- Zurita. (2010). *Probabilidad y Estadística*.

# APÉNDICES



## APÉNDICE A: TABLAS DE REFERENCIA

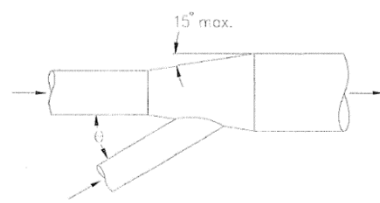
### Succión de las máquinas

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

Figura A.1: Factores multiplicativos para hallar las pérdidas de presión en la succión de las máquinas.

[Industrial ventilation a manual for recommended practice (Committee on Industrial Ventilation, 1998).]

### Ramales



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

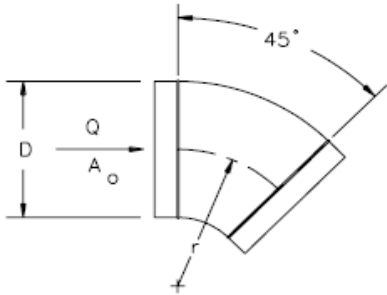
Figura A.2: Factores multiplicativos para hallar la pérdida de presión en los ramales.

[Industrial ventilation a manual for recommended practice (Committee on Industrial Ventilation, 1998).]

**Codos**

**CD3-3 Elbow, Die Stamped, 45 Degree,  $r/D = 1.5$**

$D, \text{mm}$	75	100	125	150	180	200	230	250
$C_e$	0.18	0.13	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07

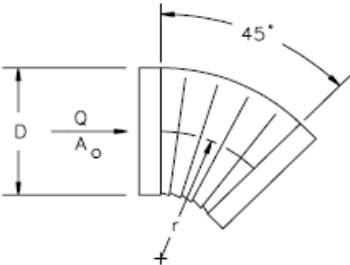


**Figura A.3: Factores multiplicativos para hallar la pérdida de presión en los codos estampados.**

[HVAC Fundamentals Handbook]

**CD3-7 Elbow, Pleated, 45 Degree,  $r/D = 1.5$**

$D, \text{mm}$	100	150	200	250	300	350	400
$C_e$	0.34	0.26	0.21	0.17	0.16	0.15	0.15



**Figura A.4: Factores multiplicativos para hallar la pérdida de presión en los codos plegados.**

[HVAC Fundamentals Handbook]

## Transición cuadrada

ED4-1 Transition, Round to Round, Exhaust/Return Systems

$A_2/A_1$	$C_e$ Values									
	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180
0.06	0.21	0.29	0.38	0.60	0.84	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
0.10	0.21	0.28	0.38	0.59	0.76	0.80	0.83	0.84	0.83	0.83
0.25	0.16	0.22	0.30	0.46	0.61	0.68	0.64	0.63	0.62	0.62
0.50	0.11	0.13	0.19	0.32	0.33	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.22	0.24	0.48	0.72	0.96	1.04
4.00	0.80	0.64	0.64	0.64	0.88	1.12	2.72	4.32	5.60	6.56
6.00	1.80	1.44	1.44	1.44	1.98	2.52	6.48	10.10	13.00	15.10
10.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.50	8.00	19.00	29.00	37.00	43.00

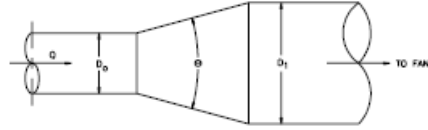


Figura A.5: Factores multiplicativos para hallar la pérdida de presión en las expansiones.

[HVAC Fundamental Handbook]

## APÉNDICE B: CÁLCULOS REPRESENTATIVOS

### Análisis granulométrico

$$X_i = 1 - \left( \frac{6.88g}{700.57g} \times 100 \right) = 99\%$$

$$Y_i = \frac{6.88g}{700.57g} \times 100 = 1\%$$

### Análisis estadístico de caracterización de muestra

$$\mu_3 = (10.17 - 70.02)^3 = -214341.07$$

$$f_i\mu_3 = (-214341.07)(0.01) = -3111.54$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{10} \frac{(-3111.54 - 227.51 - 63.21 + 168.13 + 66833.74 + 2070.88 + 420097.70 - 1057.24 - 3583.94 - 2471.54)}{57.90^3}$$

$$\alpha_3 = 0.68$$

$$\mu_4 = (10.17 - 70.02)^4 = 12827455.39$$

$$f_i\mu_3 = (12827455.39)(0.01) = 186212.97$$

$$\alpha_4 = \frac{1}{10} \frac{(186212.97 + 3227.42 + 568.01 + 1902.23 + 4644543.58 + 51407.57 + 48913655.68 + 26997.57 + 180544.67 + 156043.31)}{57.90^4}$$

$$\alpha_4 = 0.48$$

### Determinación de densidad aparente de las muestras

$$\rho_{muestra} = \frac{0.160 \text{ kg}}{0.0005 \text{ m}^3} = 320 \text{ kg/m}^3$$

### Succión en las máquinas

Sierra de mesa: Guarda inferior

$$Q_{máquina} = 440 \text{ cfm} = 0.21 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V1 = 2000 \text{ fpm} = 10.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V2 = 4200 \text{ fpm} = 21.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D1 = \sqrt{\frac{(4)(0.21)}{(\pi)(10.15)}} = 161 \text{ mm}$$

Se seleccionó un diámetro estándar de 152 mm.

Repitiendo el cálculo con  $V_2$  se obtuvo un diámetro teórico de 111 mm, pero se lo corrigió a 102 mm.

**Tabla B.1: Dimensionamiento de succiones.**

**[Elaboración propia].**

Máquina		Teórico									Corregido							
		Caudal	V1		V2		D1		D2		D1		D2		V1 succión		V2 ducto	
			m3/s	fpm	m/s	fpm	m/s	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	m/s	fpm	m/s
Sierra de mesa	Superior	0.17	2000	10.2	4200	21.3	144	6	99	4	140	6	102	4	10.7	2113.8	20.2	3982.1
	Inferior	0.21	2000	10.2	4200	21.3	161	6	111	4	152	6	102	4	11.4	2254.3	25.4	5006.1
Canteadora	Superior	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Inferior	0.17	2000	10.2	4200	21.3	144	6	99	4	140	6	102	4	10.7	2113.8	20.2	3982.1
Péndulo	Superior	0.03	2000	10.2	4200	21.3	64	3	44	2	64	3	51	2	10.3	2022.9	16.2	3185.7
	Inferior	0.20	2000	10.2	4200	21.3	160	6	110	4	152	6	102	4	11.2	2203.1	24.8	4892.3
Péndulo	Superior	0.03	2000	10.2	4200	21.3	64	3	44	2	64	3	51	2	10.3	2022.9	16.2	3185.7
	Inferior	0.20	2000	10.2	4200	21.3	160	6	110	4	152	6	102	4	11.2	2203.1	24.8	4892.3
Péndulo	Superior	0.03	2000	10.2	4200	21.3	64	3	44	2	64	3	51	2	10.3	2022.9	16.2	3185.7
	Inferior	0.20	2000	10.2	4200	21.3	160	6	110	4	152	6	102	4	11.2	2203.1	24.8	4892.3
Péndulo	Superior	0.03	2000	10.2	4200	21.3	64	3	44	2	64	3	51	2	10.3	2022.9	16.2	3185.7
	Inferior	0.20	2000	10.2	4200	21.3	160	6	110	4	152	6	102	4	11.2	2203.1	24.8	4892.3
Múltiple	Superior	0.17	2000	10.2	4200	21.3	144	6	99	4	140	6	102	4	10.7	2113.8	20.2	3982.1
	Inferior	0.26	2000	10.2	4200	21.3	180	7	125	5	180	7	127	5	10.2	2009.4	20.5	4036.5
Múltiple	Superior	0.17	2000	10.2	4200	21.3	144	6	99	4	140	6	102	4	10.7	2113.8	20.2	3982.1
	Inferior	0.26	2000	10.2	4200	21.3	180	7	125	5	140	6	127	5	16.9	3321.6	20.5	4036.5
Múltiple	Superior	0.17	2000	10.2	4200	21.3	144	6	99	4	140	6	102	4	10.7	2113.8	20.2	3982.1
	Inferior	0.26	2000	10.2	4200	21.3	180	7	125	5	180	7	127	5	10.2	2009.4	20.5	4036.5
Cepillo	Superior	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Inferior	0.37	2000	10.2	4200	21.3	216	8	149	6	200	8	152	6	11.8	2323.0	20.4	4021.9
Pulidora	Superior	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Inferior	0.17	2000	10.2	4200	21.3	144	6	99	4	140	6	102	4	10.7	2113.8	20.2	3982.1

## Dimensionamiento de ductos

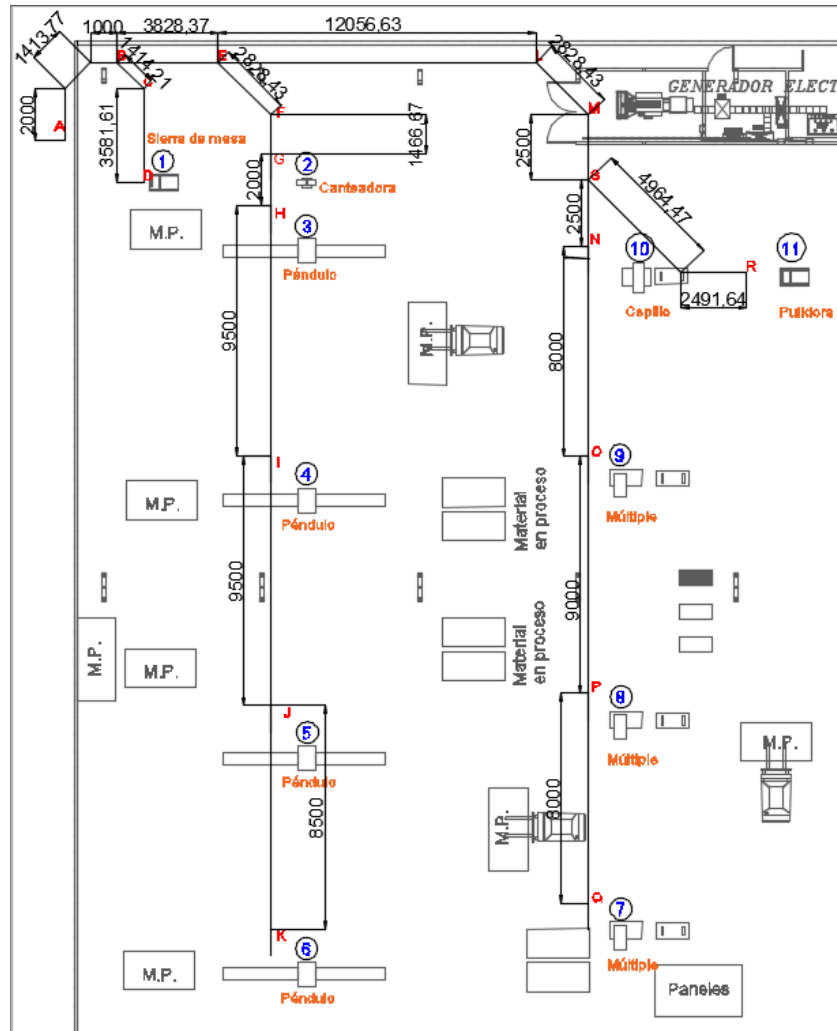


Figura B.1: Vista Superior del diseño conceptual del recorrido de ductos.

[Elaboración propia]

Tramo N-S, R-S, S-M:

$$Q_{N-S} = 3485 \text{ cfm} = 1.64 \frac{m}{s}$$

$$Q_{R-S} = 350 \text{ cfm} = 0.17 \frac{m}{s}$$

$$Q_{S-M} = Q_{N-S} + Q_{R-S} = 1.64 + 0.17 = 1.81 \frac{m}{s}$$

Tomando una velocidad mínima de transporte  $V = 4200 \text{ fpm} = 21.32 \frac{m}{s}$

$$D_{S-M} = \sqrt{\frac{(4)(1.8)}{(\pi)(21.32)}} = 329 \text{ mm}$$

Se seleccionó un diámetro estándar de 300 mm.

**Tabla B.2: Dimensionamiento de ductos.**

[Elaboración propia]

De	Hacia	Caudal	Vel mínima		Long	D teórico		D corregido		V corregida	
		m <sup>3</sup> /s	fpm	m/s	m	mm	in	mm	in	m/s	fpm
Sierra de mesa	D	0.37	4200	21.32	2.5	149.21	5.87	150	6	21.10	4156
Canteadora	G	0.17	4200	21.32	2.84	99.32	3.91	100	4	21.03	4143
Péndulo	H	0.24	4200	21.32	2.8	118.71	4.67	120	5	20.86	4110
Péndulo	I	0.24	4200	21.32	2.8	118.71	4.67	120	5	20.86	4110
Péndulo	J	0.24	4200	21.32	2.8	118.71	4.67	120	5	20.86	4110
Péndulo	K	0.24	4200	21.32	2.8	118.71	4.67	120	5	20.86	4110
Múltiple	Q	0.42	4200	21.32	2.8	159.26	6.27	150	6	24.03	4735
Múltiple	P	0.42	4200	21.32	2.8	159.26	6.27	150	6	24.03	4735
Múltiple	O	0.42	4200	21.32	2.8	159.26	6.27	150	6	24.03	4735
Cepillo	N	0.37	4200	21.32	2.8	148.74	5.86	150	6	20.96	4130
Pulidora	R	0.17	4200	21.32	2.5	99.32	3.91	100	4	21.03	4143
R	S	0.17	4200	21.32	7.4	99.32	3.91	100	4	21.03	4143
Q	P	0.42	4200	21.32	8.0	159.26	6.27	150	6	24.03	4735
P	O	0.85	4200	21.32	9.0	225.23	8.87	200	8	27.04	5327
O	N	1.27	4200	21.32	8.0	275.85	10.86	250	10	25.96	5114
N	S	1.64	4200	21.32	2.5	313.40	12.34	300	12	23.27	4584
S	M	1.81	4200	21.32	2.5	328.76	12.94	300	12	25.60	5044
M	L	1.81	4200	21.32	2.8	328.76	12.94	300	12	25.60	5044
L	E	1.81	4200	21.32	12.0	328.76	12.94	300	12	25.60	5044
K	J	0.24	4200	21.32	8.5	118.71	4.67	120	5	20.86	4110
J	I	0.47	4200	21.32	9.5	167.88	6.61	150	6	26.71	5261
I	H	0.71	4200	21.32	9.5	205.61	8.09	200	8	22.53	4439
H	G	0.94	4200	21.32	2.0	237.42	9.35	200	8	30.04	5919
G	F	1.11	4200	21.32	1.5	257.35	10.13	250	10	22.59	4451
F	E	1.11	4200	21.32	2.8	257.35	10.13	250	10	22.59	4451
E	B	2.92	4200	21.32	3.8	417.51	16.44	400	16	23.23	4576
D	C	0.37	4200	21.32	3.6	149.21	5.87	150	6	21.10	4156
C	B	0.37	4200	21.32	1.4	149.21	5.87	150	6	21.10	4156
B	A	3.29	4200	21.32	4.4	443.37	17.46	400	16	26.19	5160

## Perdida de presión en ductos

Tramo O-N

$$V_{O-N} = 25.96 \frac{m}{s}$$

$$L_{O-N} = 8 \text{ m}$$

$$D_{O-N} = 250 \text{ mm}$$

Se tomó una rugosidad  $e = 0.09 \text{ mm}$  para el acero galvanizado y  $e = 0.03$  para los ductos flexibles.

$$\frac{e}{D} = \frac{0.09}{250} = 0.00036$$



A las condiciones ambientales de  $P_{atm} = 101.5 \text{ KPa}$  y una temperatura  $T = 32 \text{ }^\circ\text{C}$ , se trabajó con las siguientes propiedades para el aire:

$$\rho_g = 1.162 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\nu_g = 2 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\mu_g = 1.8 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{m s}}$$

Entonces:

$$Re = \frac{(250)(25.96)}{1000 (2 \times 10^{-5})} = 402841 ; \text{Turbulento}$$

$$f' = 0.11 \left( 0.00036 + \frac{68}{402841} \right)^{0.25} = 0.0167$$

Debido a que  $f' < 0.018$ , es factor de fricción se lo calcula de la siguiente manera:

$$f = 0.85(0.0167) + 0.0028 = 0.0170$$

Finalmente, la caída de presión

$$Pv_{ducto} = \frac{(1.162)(25.96)^2}{2} = 391.5 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_f = \frac{1000 (0.0170)(8)}{(250)} * 391.5 = 212.7 \text{ Pa}$$



## Pérdida de presión en accesorios

### Codo de 90° en el tramo vertical de la sierra de mesa

Método ASHRAE

Su factor multiplicativo tomado de la Tabla B. es  $K = 0.13$  con un diámetro de 150 mm y una velocidad de 20.69 m/s.

$$P_v = \frac{(1.162)(20.69)^2}{2} = 255.3 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{acc} = 0.13 * 255.3 = 33.2 \text{ Pa}$$

**Tabla B.4: Pérdida de presión a través de accesorios.**

[Elaboración propia]

Accesorio	Cantidad	D	K	V	Pv	ΔPducto		
		mm				Pa	mmH2O	inH2O
Codo 45°								
Canteadora	1	100	0.13	21	257	33.404	3.41	0.13
Péndulo	5	120	0.11	20.9	253	139.09	14.18	0.56
Múltiple	4	150	0.08	24	336	107.4	10.95	0.43
C	1	150	0.08	21.1	259	20.687	2.11	0.08
F	1	250	0.07	22.6	297	20.758	2.12	0.08
R-S	1	100	0.13	21	257	33.404	3.41	0.13
M	1	300	0.16	25.6	381	60.937	6.21	0.24
A-B	2	400	0.15	26.2	399	119.59	12.19	0.48
Codo 90°								
Sierra de mesa	1	150	0.13	21	255	33.192	3.38	0.13
Pulidora	1	120	0.11	21	257	28.265	2.88	0.11
Ventilador-Ciclón	1	394	0.21	28.4	470	98.728	10.07	0.40
Transición								
Ventilador-Ciclón	1	N/A	0.28	28.4	470	131.64	13.42	0.53
						<b>827.09</b>	<b>84.34</b>	<b>3.32</b>

### Ramal en el punto B

Método ACGIH

Se fijó el ángulo a 45°, de esta manera se lee un factor multiplicativo 0.28 de la Tabla B.5 a las condiciones ambientales descritas previamente, se trabajó con una densidad de  $\rho_{g-ingles} = 0.0726 \text{ lbm/ft}^3$ .

$$P_{v-ACGIH} = 0.0726 \left( \frac{4156}{1096} \right)^{0.25} = 0.292 \text{ inH2O} = 72.8 \text{ Pa}$$

**Tabla B.5: Pérdida de presión a través de accesorios (Método ACGIH).**

[Elaboración propia]

Accesorio	Cantidad	Ang	K	V		Pv			ΔPducto		
		°		m/s	fpm	Pa	mmH2O	inH2O	Pa	mmH2O	inH2O
Ramales											
Sierra de mesa	1	30	0.18	20.2	3982	238.8	24.35	0.96	42.984	4.3831	0.173
Canteadora	1	30	0.18	20.2	3982	238.8	24.35	0.96	42.984	4.3831	0.173
Péndulo	4	30	0.18	16.2	3186	152.83	15.58	0.61	27.51	2.8052	0.11
Múltiple	3	30	0.18	20.2	3982	238.8	24.35	0.96	42.984	4.3831	0.173
Cepillo	1	30	0.18	20.4	4022	243.59	24.84	0.98	43.847	4.4711	0.176
Pulidora	1	30	0.18	20.2	3982	238.8	24.35	0.96	42.984	4.3831	0.173
B	1	45	0.28	21.1	4156	260.13	26.53	1.04	72.836	7.4271	0.292
E	1	45	0.28	22.6	4451	298.32	30.42	1.20	83.528	8.5174	0.335
G	1	45	0.28	21	4143	258.49	26.36	1.04	72.376	7.3802	0.291
H	1	45	0.28	20.9	4110	254.4	25.94	1.02	71.232	7.2635	0.286
I	1	45	0.28	20.9	4110	254.4	25.94	1.02	71.232	7.2635	0.286
J	1	45	0.28	20.9	4110	254.4	25.94	1.02	71.232	7.2635	0.286
S	1	45	0.28	21	4143	258.49	26.36	1.04	72.376	7.3802	0.291
N	1	45	0.28	21	4130	256.85	26.19	1.03	71.917	7.3334	0.289
O	1	45	0.28	24	4735	337.61	34.43	1.36	94.532	9.6394	0.38
P	1	45	0.28	24	4735	337.61	34.43	1.36	94.532	9.6394	0.38
Succión											
Sierra de mesa	Superior	45	0.06	20.2	3982	238.8	24.351	0.959	14.328	1.461	0.058
	Inferior	45	0.06	25.4	5006	377.4	38.484	1.515	22.644	2.309	0.091
Canteadora	Superior	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Inferior	45	0.06	20.2	3982	238.8	24.351	0.959	14.328	1.461	0.058
Péndulo	Superior	45	0.06	16.2	3186	152.83	15.584	0.614	9.17	0.9351	0.037
	Inferior	45	0.06	24.8	4892	360.44	36.754	1.447	21.627	2.2053	0.087
Péndulo	Superior	45	0.06	16.2	3186	152.83	15.584	0.614	9.17	0.9351	0.037
	Inferior	45	0.06	24.8	4892	360.44	36.754	1.447	21.627	2.2053	0.087
Péndulo	Superior	45	0.06	16.2	3186	152.83	15.584	0.614	9.17	0.9351	0.037
	Inferior	45	0.06	24.8	4892	360.44	36.754	1.447	21.627	2.2053	0.087
Péndulo	Superior	45	0.06	16.2	3186	152.83	15.584	0.614	9.17	0.9351	0.037
	Inferior	45	0.06	24.8	4892	360.44	36.754	1.447	21.627	2.2053	0.087
Múltiple	Superior	45	0.06	20.2	3982	238.8	24.351	0.959	14.328	1.461	0.058
	Inferior	45	0.06	20.5	4036	245.36	25.02	0.985	14.722	1.5012	0.059
Múltiple	Superior	45	0.06	20.2	3982	238.8	24.351	0.959	14.328	1.461	0.058
	Inferior	45	0.06	20.5	4036	245.36	25.02	0.985	14.722	1.5012	0.059
Múltiple	Superior	45	0.06	20.2	3982	238.8	24.351	0.959	14.328	1.461	0.058
	Inferior	45	0.06	20.5	4036	245.36	25.02	0.985	14.722	1.5012	0.059
Cepillo	Superior	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Inferior	45	0.06	20.4	4022	243.59	24.839	0.978	14.616	1.4904	0.059
Pulidora	Superior	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Inferior	45	0.06	20.2	3982	238.8	24.351	0.959	14.328	1.461	0.058
									<b>1309.7</b>	<b>133.55</b>	<b>5.258</b>

La caída total de presión por los accesorios es **2136.75 Pa**.

## Diseño del ciclón

### Dimensiones

Modelo Stairmand

$$Q_t = 6975 \text{ cfm} = 11858 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 3.29 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$D = \sqrt{\frac{11858}{5500}} = 1.47 \text{ m}$$

$$a = 0.5 * 1.47 = 0.73 \text{ m}$$

$$b = 0.2 * 1.47 = 0.29 \text{ m}$$

$$De = 0.5 * 1.47 = 0.73 \text{ m}$$

$$S = 0.5 * 1.47 = 0.73 \text{ m}$$

$$h = 1.5 * 1.47 = 2.20 \text{ m}$$

$$H = 4 * 1.47 = 5.87 \text{ m}$$

$$B = 0.375 * 1.47 = 0.55 \text{ m}$$

### Caída de presión

$$\Delta H = 6.4$$

$$V_{in} = \frac{3.29}{0.73 * 0.29} = 15.28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta P_{ciclón} = 6.4 * \left( \frac{1}{2} * 1.162 * 15.28^2 \right) = 868 \text{ Pa}$$

### Velocidad máxima tangencial

$$C_I = \left( \frac{0.73 * 0.29}{1.47^2} \right)^{0.61} \left( \frac{0.73}{1.47} \right)^{-0.74} \left( \frac{5.87}{1.47} \right)^{-0.33} = 0.26$$

$$V_{max} = 6.1 * 15.28 * 0.26 = 24.18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### Longitud del núcleo

$$d_c = 0.52 * 1.47 \left( \frac{0.73 * 0.29}{1.47^2} \right)^{-0.25} = 1.35 \text{ m} > 0.55 \text{ m}$$

Se utiliza la ecuación (2.25) para hallar la longitud del núcleo.

$$z_c = (5.87 - 0.73) - \left( \left( \frac{5.87 - 2.2}{\frac{1.47}{0.55} - 1} \right) \left( \frac{1.35}{0.55} - 1 \right) \right) = 1.91 \text{ m}$$

### Diámetro de corte

Se trabajó con las propiedades del gas a las condiciones ambientales previamente descritas y con la máxima densidad de partícula  $\rho_p = 320 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ .

$$d_{50} = \left( \frac{9 * 3.29 * 1.8 \times 10^{-5}}{\pi * 1.91 * 320 * 24.18^2} \right) = 2.17 \times 10^{-5} \text{ m} = 2.17 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

### Parámetro logarítmico de la geometría del ciclón

$$C_\beta = \frac{0.73 * 0.29}{1.47^2} = 0.1$$

### Pendiente logarítmica

$$\ln \beta = 0.62 - 0.87 \ln(2.17 \times 10^{-3}) + 5.21 \ln(0.1) - 1.05 (\ln(0.1))^2 = -0.47$$

$$\beta = 0.62$$

### Ecuación de eficiencia en función del tamaño de partícula

$$\eta_d = \frac{1}{1 + \left( \frac{2.17 \times 10^{-3}}{d_p} \right)^{0.62}}$$

### Concentración remanente

De la Tabla 3.8 se lee una eficiencia global del 91%

$$C_f = 12 * (1 - 0.91) = 1.1 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

### Selección del ventilador

La sumatoria de pérdidas del sistema se detallan a continuación:

$$\Delta P_f = 5650.76 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{acc} = 2136.75 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{ciclón} = 868 \text{ Pa}$$

$$P_{fan} = 5650.76 + 2136.75 + 868 = 8655.51 \text{ Pa} = 34.78 \text{ inH}_2\text{O}$$

Se seleccionó el ventilador en base a la presión a vencer  $P_{fan} = 35 \text{ inH}_2\text{O}$  y el caudal a transportar  $Q_t = 6975 \text{ cfm}$ .

Selección: Ventilador centrífugo con álabes a reacción, modelo: CASB-X 710-60, motor: 45 KW 60Hz, marca: Sodeca.

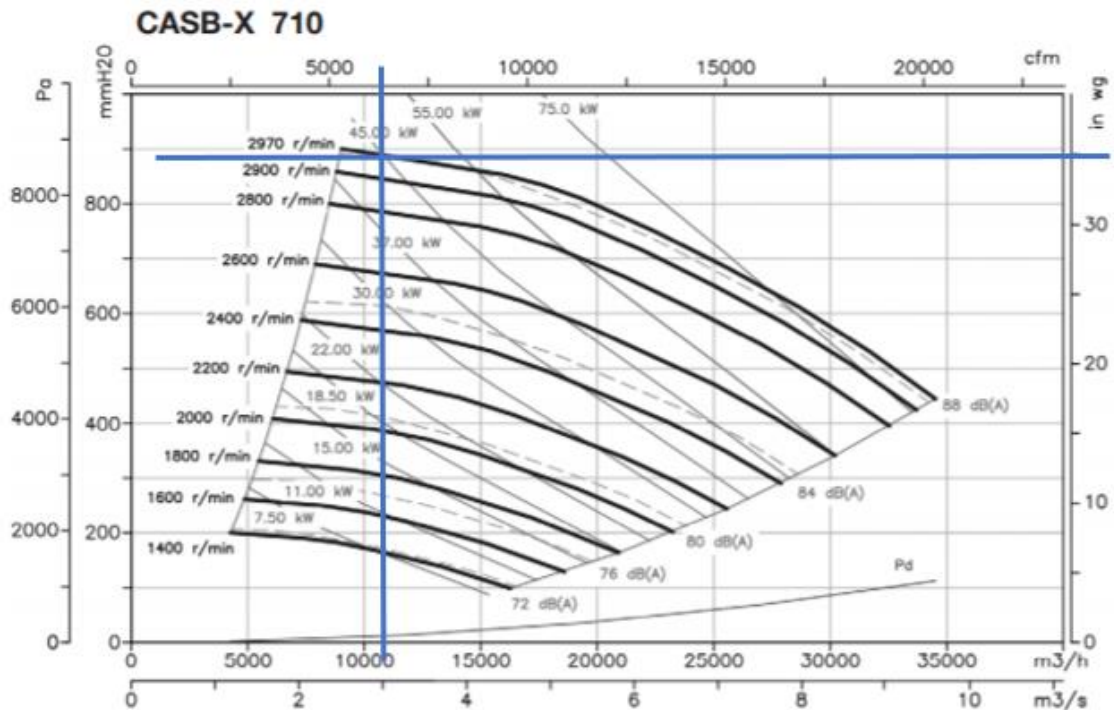


Figura B.2: Curva de rendimiento del ventilador y punto de operación.

[Sodeca (CASB-X - Sodeca, s/f)]

## Diseño de la tolva

### Dimensiones de la tolva

$$D_d = \left(2 + \frac{30}{60}\right) \left[ \frac{1.250 \times 1000}{(320 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)} \right] = 0.995 \text{ m}$$

$$h_o = \frac{2/2}{\tan 30} = 1.732 \text{ m}$$

$$h_b = \frac{1/2}{\tan 30} = 0.866 \text{ m}$$

$$z_2 = 1.732 \text{ m} - 0.866 \text{ m} = 0.866 \text{ m}$$

$$z_1 = 2 \text{ m} - 0.866 \text{ m} = 1.134 \text{ m}$$

## Espesor de pared de tolva

$$K = 0.400$$

$$K = \frac{1 - \sin 16.2}{1 + \sin 16.2} = 0.283$$

$$K = \frac{1 - \sin^2 16.2}{1 + \sin^2 16.2} = 0.524$$

$$P_v = \frac{(320 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(1\text{m})}{4(0.524)(\tan 27)} \left(1 - e^{\left(-\frac{4(0.524)(2\text{m})(\tan 27)}{1\text{m}}\right)}\right) = 3.860 \text{ kPa}$$

$$P_w = 0.524(3.860 \text{ kPa}) = 2.021 \text{ kPa}$$

$$e_p = \frac{(2.021 \text{ kPa} \times \frac{1000 \text{ Pa}}{1 \text{ kPa}})(2\text{m}/4)}{250 \times 10^6 \text{ Pa}} = 0.004 \text{ mm}$$

Por consideraciones de diseño se seleccionó el mínimo espesor del mercado, suficiente como para mantener una buena integridad estructural de la tolva:

$$e_p \cong 2 \text{ mm}$$

## Capacidad de tolva

$$V = \frac{0.866m}{3} (4m^2 + 1m^2 + \sqrt{4m^2 \times 1m^2}) + 4m^2(1.134m) = 6.557 \text{ m}^3$$

$$M = (320 \text{ kg/m}^3)(6.557 \text{ m}^3) \cong 2 \text{ ton}$$

## Tasa de descarga de tolva

$$\dot{m} = (320 \text{ kg/m}^3)(4m^2) \sqrt{\frac{(1\text{m})(9.81 \text{ m/s}^2)}{2(1+1)(\tan 30)}} = 660 \text{ kg/s}$$

## Diseño de plataforma de ventilador y de torre de ciclón/tolva

### Diseño de columnas por pandeo

Iteración con perfil IPN100 ASTM A36 para columna de plataforma de ventilador:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(200 \times 10^9 \text{ Pa})}{250 \times 10^6 \text{ Pa}}} = 126$$

$$\frac{L_e}{r_g} = \frac{0.5(3136 \text{ mm})}{10.7 \text{ mm}} = 147 > 126$$

$$\sigma_T = \frac{12\pi^2(200 \times 10^9 \text{ Pa})}{23(147)^2} = 48 \text{ Mpa}$$

$$P_c = (48 \times 10^6 \text{ Pa})(10.6 \times 10^{-4} \text{ m}) = 51 \text{ kN}$$



Iteración con tubo cuadrado de 100x3mm ASTM A500 Gr. B para columna de torre de ciclón-tolva:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2(200 \times 10^9 Pa)}{250 \times 10^6 Pa}} = 126$$

$$\frac{L_e}{r_g} = \frac{0.5(2790mm)}{39.4mm} = 35 < 126$$

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3(35)}{8(126)} - \frac{(35)^3}{8(126)^3} = 1.8$$

$$\sigma_T = \left[ 1 - \frac{(35)^2}{2(126)^2} \right] \frac{(250 \times 10^6 Pa)}{1.8} = 135 MPa$$

$$P_c = (135 \times 10^6 Pa)(11.4 \times 10^{-4} m) = 154 kN$$

### Diseño de vigas por flexión

Iteración con perfil IPN100 ASTM A36 para viga principal larga de plataforma de ventilador:

$$M_a = -\frac{(5 kN)(502 mm)(2998 mm)^2}{3500 mm} = -1.86 kN \cdot m$$

$$M_b = -\frac{(5 kN)(502 mm)^2(2998 mm)}{3500 mm} = -0.31 kN \cdot m$$

$$S_{x,n} = \frac{1.86 kN \cdot m}{250 MPa} = 7.43 cm^3$$

Iteración con perfil IPN100 ASTM A36 para viga de amarre de torre de ciclón-tolva:

$$M = -\frac{(9.6 kN)(2200 mm)}{8} = -2.63 kN \cdot m$$

$$S_{x,n} = \frac{2.63 kN \cdot m}{250 MPa} = 10.52 cm^3$$

## APÉNDICE C: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN

**Tabla C.1: Captación de material particulado desde la fuente.**

[Elaboración propia]

Descripción		Ventajas	Desventajas
Alternativa 1	Campana de extracción fija sobre la zona de trabajo	Se abarca una gran área	Se limita solo a extraer el material particulado en suspensión
		Fácil mantenimiento	
		No interfiere con las actividades de producción	
Alternativa 2	Extracción localizada con tubería rígida acoplada al aislamiento de la fuente y cercana a la zona de trabajo	Se extrae tanto el material particulado en suspensión como el que se genera desde la fuente	Limita el movimiento de las máquinas
		Existe la posibilidad de que interfiera en las operaciones	Mantenimiento complicado
Alternativa 3	Extracción localizada con manguera flexible acoplada al aislamiento de la fuente y cercana a la zona de trabajo	Se extrae tanto el material particulado en suspensión como el que se genera desde la fuente	Costo elevado
		El operador puede mover manualmente la manguera de extracción	Mayor número de elementos
		Alta movilidad	

**Tabla C.2: Filtrado del aire contaminado.**

**[Elaboración propia]**

Descripción		Ventajas	Desventajas
Alternativa 1	Colector húmedo	Gran eficiencia	Constante cambio de agua
		Se obtiene un buen filtrado de aire	Costo elevado
		Sistema parcialmente recomendado para la aplicación	
Alternativa 2	Colector centrífugo seco	Eficiencia moderada	Existe la posibilidad de que se requiera un filtro adicional a la salida del aire
		Fácil mantenimiento	
		No se necesita personal capacitado para el mantenimiento	
		Sistema más recomendado para la aplicación	Ocupa mucho espacio
Alternativa 3	Colector con filtros de mangas	Alta eficiencia	Costo elevado
		Se obtiene un mayor filtrado del aire	Mantenimiento complicado
			Cambio constante de filtros
			Se necesita personal capacitado para el mantenimiento
			No se recomienda para la aplicación
Alternativa 4	Colector con precipitadores electrostáticos	Sistema con la mayor eficiencia	Costo elevado
		Se obtiene un gran filtrado del aire	No se recomienda para la aplicación
			Se necesita personal capacitado para el mantenimiento

**Tabla C.3: Almacenamiento del material particulado.**

[Elaboración propia]

Descripción		Ventajas	Desventajas
Alternativa 1	Barril de acero cubierto	Se puede diseñar dependiendo del volumen de material particulado producido al día	Extracción de los desechos tardía
		Posee hermeticidad	Costo elevado de fabricación
		Largas frecuencias de extracción	
Alternativa 2	Bolsa de tela colapsada	Solución más económica	Exista la posibilidad de que la bolsa de desacople
		Fácil y rápida extracción de los desechos	Frecuencias de extracción muy cortas
Alternativa 3	Bolsa desechable dentro de una caja recubierta	Solución hermética	Dificultad para retirar los desechos
		Se ahorra dinero al usar bolsas desechables	Existe la probabilidad de que la bolsa se rompa
			Costo elevado de fabricación de la caja
			Frecuencias de extracción muy cortas

**Tabla C.4: Explicación de la ponderación de los criterios de selección.**

**[Elaboración propia]**

Proceso	Criterio de selección	Ponderación	Explicación
*Captación de material particulado desde la fuente	Captación de material particulado suspendido y en la fuente	0.2	Debido a que el sistema debe captar la mayor cantidad de desecho de madera en las máquinas, su factor de ponderación es 20/100
	Facilidad de trabajo para operadores	0.2	Debido a que el sistema no debe estorbar en las labores cotidianas de trabajo, la ponderación es 20/100
	Reducción del polvo de madera esparcido a los alrededores	0.15	Se busca reducir la esparción del polvo a los alrededores, pero este problema es inevitable, por tal motivo la ponderación es 15/100
	Facilidad de mantenimiento	0.25	Debido a que la limpieza de las máquinas debe ser rápida y fácil por un personal que no esta especializado en mantenimiento, la ponderación es 25/100
	Costo	0.2	Se busca reducir en la mayor parte la inversión, por eso su ponderación es 20/100
*Filtrado del aire contaminado *Almacenamiento del material particulado	Capacidad de succión	0.15	El sistema diseñado correctamente será capaz de absorber y almacenar el desecho de todas las máquinas, por tal motivo su ponderación es 15/100
	Eficiencia de filtrado	0.2	Se busca reducir los niveles de concentración a niveles tolerables para las personas, por tal motivo su ponderación es 20/100
	Aplicabilidad al polvo de madera	0.25	El sistema debe ser el adecuado para el polvo de madera, su ponderación es 25/100
	Facilidad de mantenimiento	0.2	El mantenimiento debe ser realizado por personal no especializado en mantenimiento, su ponderación es 20/100
	Costo	0.2	Se busca reducir en la mayor parte la inversión, por eso su ponderación es 20/100

## APÉNDICE D: CATÁLOGOS

### ATEX POLYFLEX 30

DIA.	PART #	WT. PER FT.	REG. PRICE	35% OFF PER FT.
2"	HATEX3002	0.3	\$10.77	\$7.00
2.5"	HATEX3002.5	0.4	\$12.55	\$8.16
3"	HATEX3003	0.5	\$12.60	\$8.19
4"	HATEX3004	0.8	\$15.89	\$10.33
5"	HATEX3005	1.0	\$19.02	\$12.36
6"	HATEX3006	1.5	\$23.48	\$15.26
7"	HATEX3007	1.5	\$24.00	\$15.60
8"	HATEX3008	2.0	\$24.30	\$15.80
10"	HATEX3010	2.0	\$33.94	\$22.06
12"	HATEX3012	3.0	\$37.58	\$24.43
14"	HATEX3014	3.5	\$47.18	\$30.67
16"	HATEX3016	4.0	\$59.11	\$38.42
18"	HATEX3018	5.0	\$72.35	\$47.03
<b>PRICED PER FOOT</b>				

### ATEX Polyflex 30



- ATEX Certified for combustible dusts (wood dust, powders, plastics)
- Anti-static  $<10^9 \Omega$  , Fire Retardant
- Highly abrasive resistant polyurethane. Spring Steel Helix
- Replaces standard urethane, PVC & thermo plastic hoses.
- Temp -25° F to 225° F Wall .031

**Figura D.1: Ductos flexibles ATEX POLYFLEX.**

[TheBlastGateCompany, 2019]

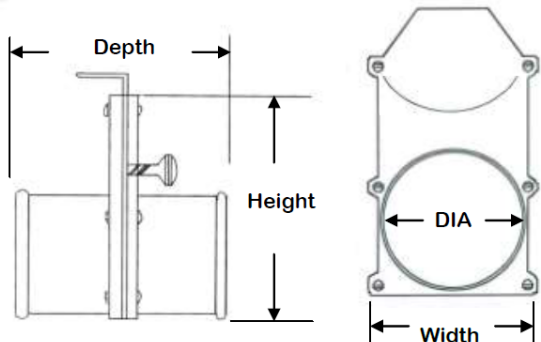
### BLAST GATE MANUAL CAST ALUMINIM

DIA	PART #	ENDS	WIDTH	HGT.	DEPTH	WT.	REG. PRICE	35% OFF	
3"	BGFRE03	CT	4.01	5.61	6.18	1.4	\$39.40	\$25.61	
4"	BGFRE04	CT	5.00	6.86	5.66	1.8	\$39.40	\$25.61	
5"	BGFRE05	CT	6.00	8.00	5.17	2.4	\$41.00	\$26.65	
6"	BGFRE06	CT	7.00	10.00	5.70	3.4	\$53.90	\$35.04	
7"	BGFRE07	CT	8.00	11.25	5.06	4.4	\$63.80	\$41.47	
8"	BGFRE08	CT	9.63	12.63	5.82	5.6	\$75.50	\$49.08	
9"	BGFRE09	CT	10.62	13.60	5.33	7.6	\$104.50	\$67.93	
10"	BGFRE10	CT	11.38	14.38	5.99	8.4	\$132.80	\$86.32	
11"	BGFRE11	CT	12.31	15.38	5.42	7.4	\$172.40	\$112.06	
12"	BGFRE12	CT	13.25	16.25	6.06	10.4	\$172.40	\$112.06	
14"	BGFRE14	CT	15.76	18.97	6.26	14.2	\$255.30	\$165.95	
16"	BGFRE16	CT	17.90	21.28	5.97	18.4	\$371.50	\$241.48	
18"	BGFRE18	CT	20.23	32.82	9.04	22.4	\$472.00	\$306.80	
20"	BGFRE20	CT	22.37	34.25	9.16	26.4	\$584.80	\$380.12	
22"	BGFRE22	CT	24.60	34.21	9.11	30.0	\$638.40	\$414.96	
24"	BGFRE24	CT	26.65	34.38	9.15	34.4	\$754.40	\$490.36	
26"	BGFRE18	FL	29.25	CALL	CALL	62.0	\$1,440.00	\$936.00	
28"	BGFRE20	FL	30.25	CALL	CALL	72.0	\$1,666.80	\$1,083.42	
30"	BGFRE22	FL	33.25	CALL	CALL	97.0	\$2,045.70	\$1,329.71	
CT = CLAMP TOGETHER			FL = FLANGE						

### Die Cast Aluminum Blast Gate



- Manually operated
- Aluminum body, galvanized blade
- Clamp together rolled end collars



**Figura D.2: Compuertas de explosión.**

[TheBlastGateCompany, 2019]

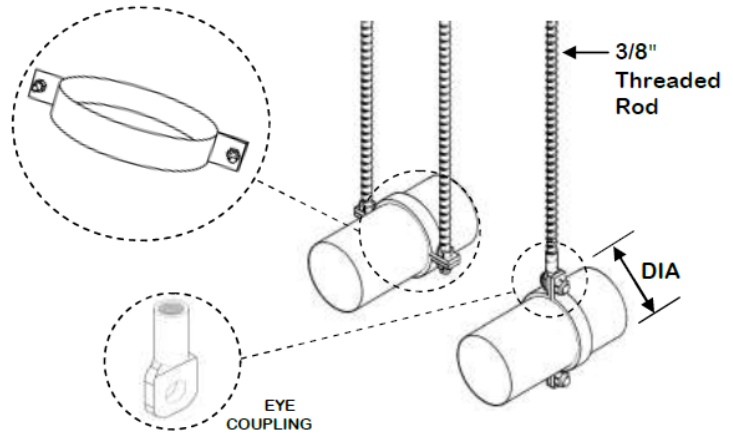
**PIPE HANGER**

DIA	PART #	WT.	REG. PRICE	35% OFF
3"	HR03	0.4	\$7.90	\$5.14
4"	HR04	0.5	\$7.90	\$5.14
6"	HR06	0.5	\$10.00	\$6.50
7"	HR07	0.6	\$10.00	\$6.50
8"	HR08	0.7	\$12.00	\$7.80
9"	HR09	0.8	\$14.90	\$9.69
10"	HR10	0.9	\$15.60	\$10.14
11"	HR11	1.0	\$17.40	\$11.31
12"	HR12	1.0	\$17.40	\$11.31
14"	HR14	1.2	\$19.80	\$12.87
16"	HR16	1.4	\$25.70	\$16.71
18"	HR18	1.5	\$27.30	\$17.75
20"	HR20	1.8	\$29.90	\$19.44
22"	HR22	6.0	\$36.80	\$23.92
24"	HR24	6.0	\$42.10	\$27.37

**Pipe Hanger**



- 1 1/2" Wide 14 gauge galvanized construction
- Can be used as a single or double rod hanger



**EYE COUPLING**

DIA	PART #	WT.	REG. PRICE	35% OFF
3/8"	TREC38E	0.2	\$2.05	\$1.33

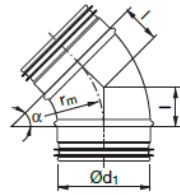
**Figura D.3: Soportes para ductos.**

[TheBlastGateCompany, 2019]

# BU 45°

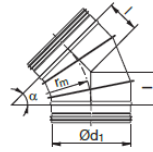
# BFU 45°

Dimensión



$$r_m \approx 1 \cdot d_1$$

Dimensión



$$r_m \approx 1 \cdot d_1$$

Ød <sub>1</sub> nom	l mm	m kg
63	46	0,16
80	41	0,17
100	41	0,21
112	81	0,24
125	52	0,29
140	56	0,43
150	62	0,42
160	66	0,48
180	76	0,65
200	83	0,80
224	93	0,82
250	103	1,05

Ød <sub>1</sub> nom	l mm	m kg
250	104	1,26
280	116	1,54
300	124	1,77
315	130	1,90
355	147	2,26
400	166	2,96
450	186	4,00
500	207	4,90
560	232	6,10
600	249	6,80
630	261	7,49
710	294	11,3
800	331	15,0
900	373	16,8
1000	414	19,5
1120	464	28,5
1250	518	38,0

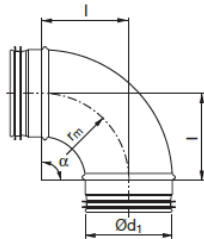
Figura D.4: Codos a 45°.

[Duterm, 2019]

# BU 90°

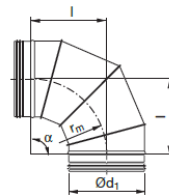
# BFU 90°

Dimensión



$$r_m \approx 1 \cdot d_1$$

Dimensión



$$r_m \approx 1 \cdot d_1$$

Ød <sub>1</sub> nom	l mm	m kg
63	110	0,20
80	105	0,26
100	100	0,31
112	120	0,39
125	125	0,48
140	135	0,66
150	150	0,66
160	160	0,62
180	180	1,02
200	200	1,12
224	225	1,33
250	242	1,77

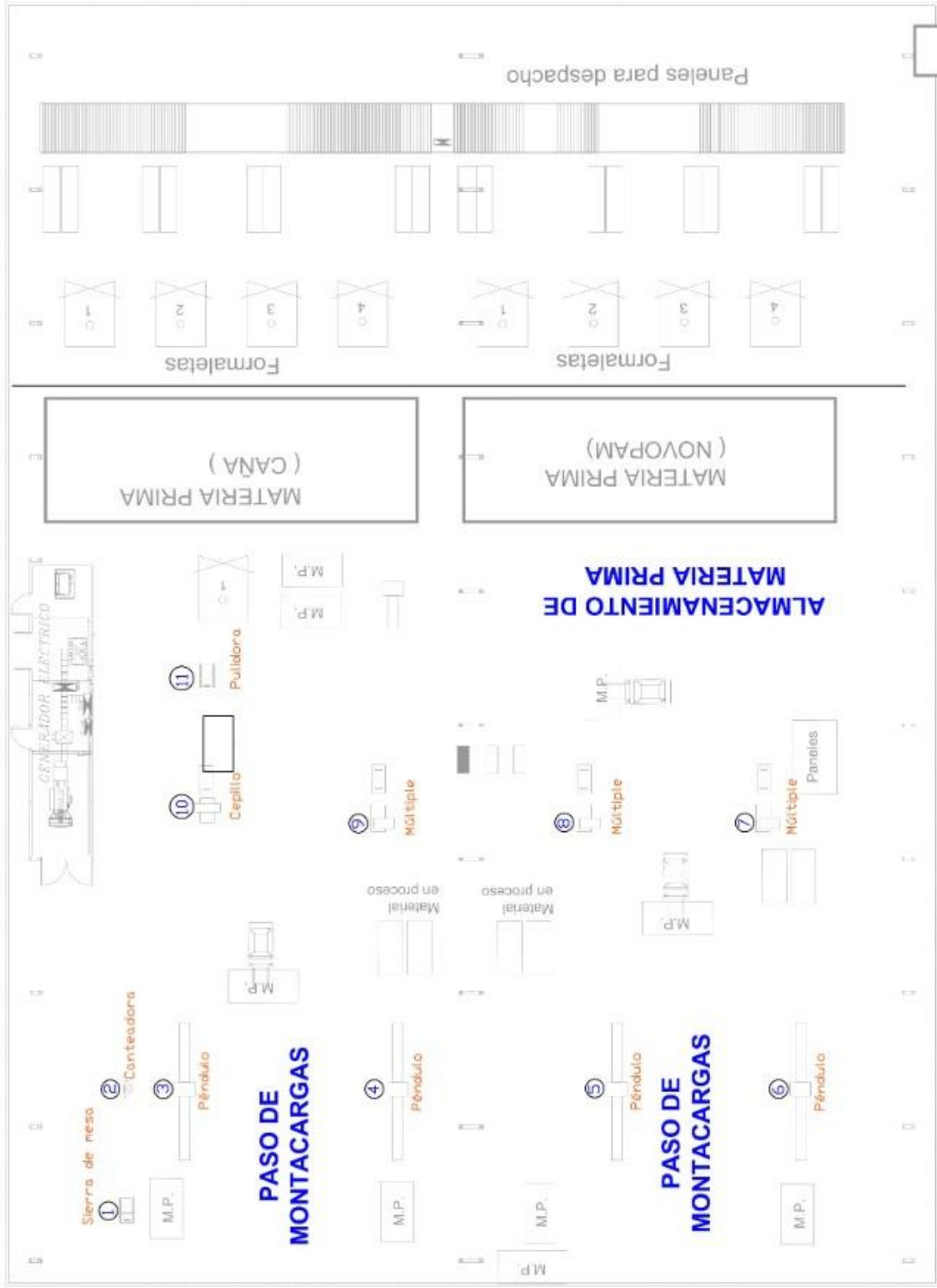
Ød <sub>1</sub> nom	l mm	m kg	Number of segments
250	250	2,20	4
280	280	2,50	4
300	300	2,7	4
315	315	3,00	4
355	355	3,75	4
400	400	5,64	4
450	450	7,00	4
500	500	8,20	4
560	560	10,1	4
600	600	11,7	4
630	630	12,9	4
710	710	19,8	4
800	800	26,0	4
900	900	33,6	4
1000	1000	42,0	5
1120	1120	52,6	5
1250	1250	64,0	5

Figura D.5: Codos a 90°.

[Duterm, 2019]

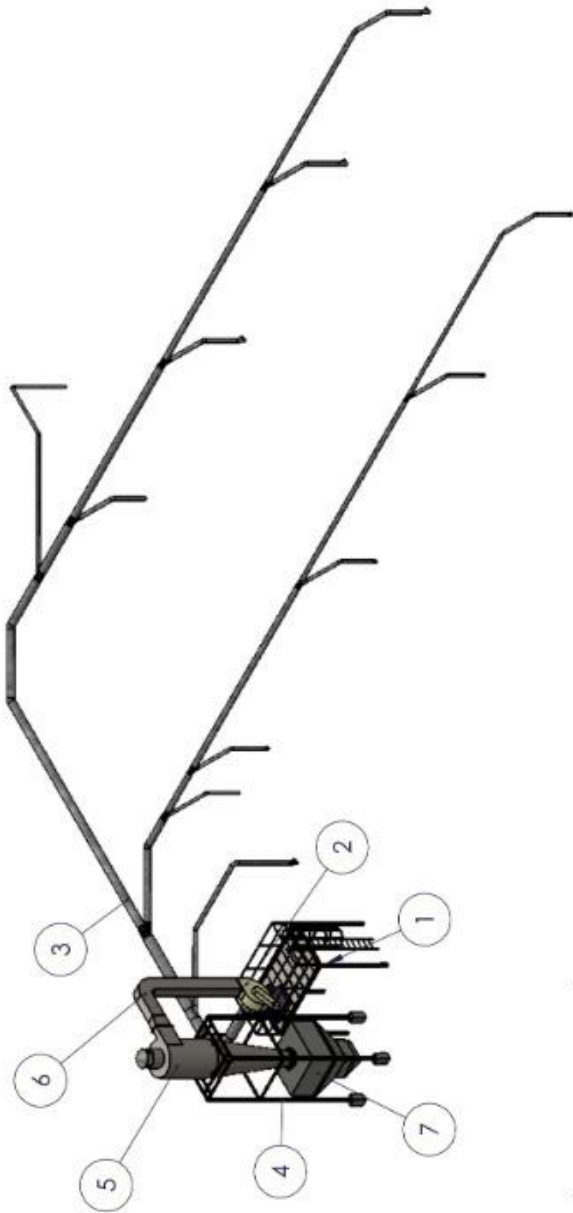


## **APÉNDICE E: PLANOS**



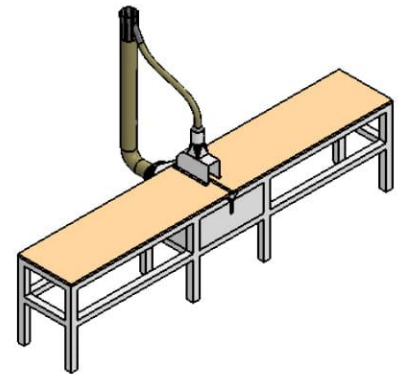
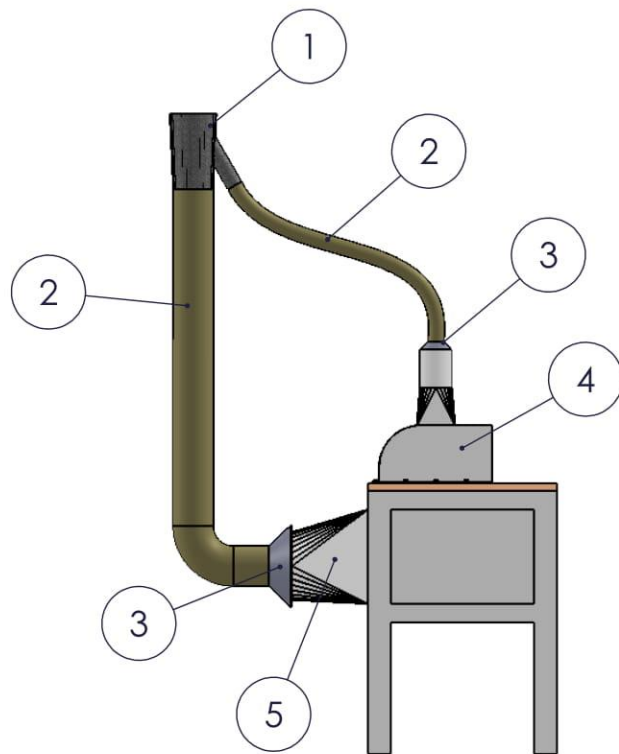
Equipo		ÁREA DE PRODUCCIÓN	
PLANO GENERAL DEL TALLER		N.º Hoja	
Contiene		1	
Ubicación de las máquinas del taller		Plano N.º	
Proyecto		INT-PG	
Bosque de un sistema de extracción de material particulado para el área de producción		Normativa	
ESPOL		Unidades	
Materiales		ppm	
		ESCALA:	
		1:200	
		A3	

Nombre	Fecha
B. BUJINDE	06/1/2020
Rev.	ING. LEON 22/1/2020
Apro.	ING. LEON 22/1/2020
Sustituye a:	
Sust. por:	



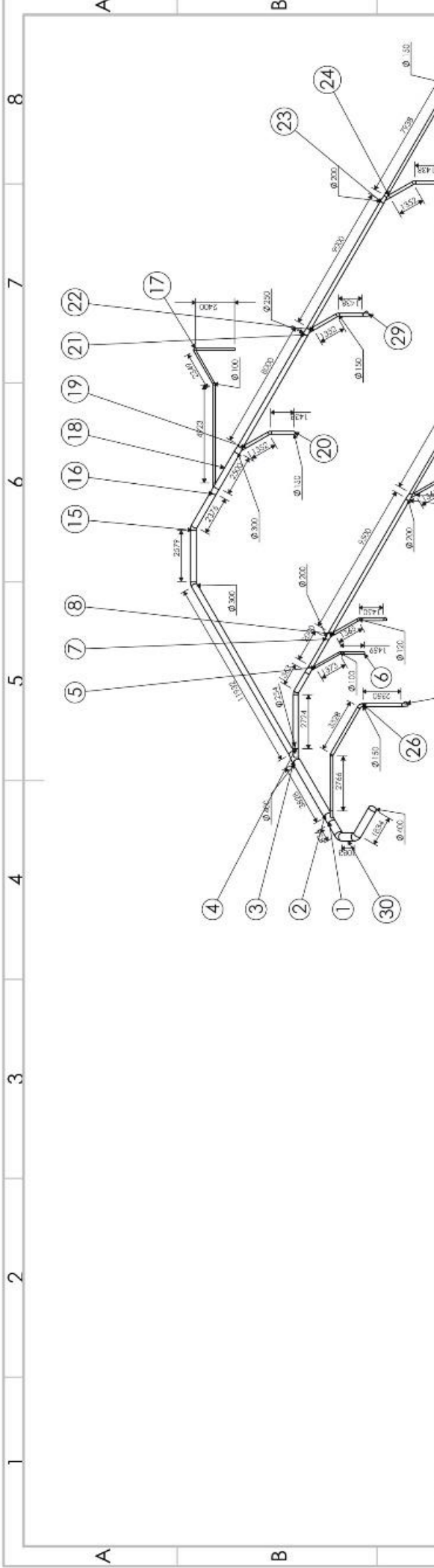
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Bastidor de ventilador	Estructura de soporte para el ventilador	1
2	Ventilador	CASB-X-710-60	1
3	Sistema de ductos	Sistema de ductos de acero galvanizado	1
4	Bastidor del ciclón	Estructura de soporte para el ciclón	1
5	Ciclón	Sistema de filtrado	1
6	Ventilador - ciclón	Conexión entre el ventilador y el ciclón	1
7	Tolva	Almacenamiento de material particulado	1

DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA		ÁREA DE PRODUCCIÓN	
Equipos		Nombre	
Contiene		Fecha	
Proyecto		Dib.	
Diseño de un sistema de extracción de material particulado para el área de producción		Rev.	
Espol		Apro.	
Materiales		Substituye a:	
Acero ASTM A36		Suic. por:	
Acero Galvanizado		ESCALA:	
Acero Inoxidable		1:200	
Espol		A3	



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Ramal de péndulo	Plancha Acero Galvanizado, e: 1mm	1
2	Ducto flexible	Poliuretano, ATEX	2
3	Succión	Plancha Acero Galvanizado, e: 1mm	2
4	Guarda superior	Plancha Aluminio, e: 1mm	1
5	Guarda inferior	Plancha Aluminio, e: 1mm	1

Equipo		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha		
CONEXIÓN SISTEMA DE DUCTOS CON LAS MÁQUINAS				Dib.	B. Quinde	16/1/2020	
		Contiene	Tolerancias	Nº. Hoja	Rev.	Ing. León	20/1/2020
Componentes que conectan los ductos con las máquinas		Tratamiento	3		Apro.	Ing. León	24/1/2020
		Masa			Plano Nº.	Sustituye a:	
Proyecto	Diseño de un sistema de extracción de material particulado para el área de producción	INT-CM		Sust. por:			
				Normativa	ESCALA:	1:20	
ESPOL		Materiales Aluminio Acero Galvanizado Polyurethane	Unidades mm	A4			



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Ramal B	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
2	BE	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
3	Ramal E	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
4	EFG	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
5	Ramal G	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
6	Vertical cantileadora	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
7	GH	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
8	Ramal H	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
9	Vertical péndulo	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	3
10	HI	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
11	Ramal I	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
12	IJ	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
13	Ramal J	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
14	Vertical péndulo último	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
15	ELMS	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
16	Ramal S	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
17	Vertical pulidora	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
18	SN	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
19	Ramal N	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
20	Vertical múltiple	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	3
21	NO	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
22	Ramal O	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
23	OP	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
24	Ramal P	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
25	Vertical múltiple último	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
26	Vertical sierra de mesa 2	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
27	Ramal sierra de mesa	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	4
28	Ramal péndulo	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	3
29	Ramal múltiple	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1
30	AB	Plancha Acero Galvanizado, e: 1,1 mm	1

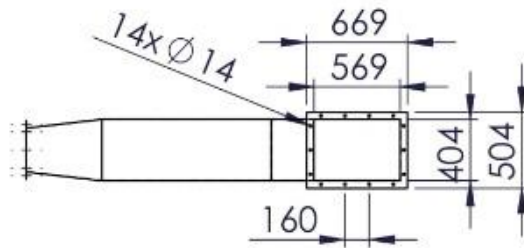
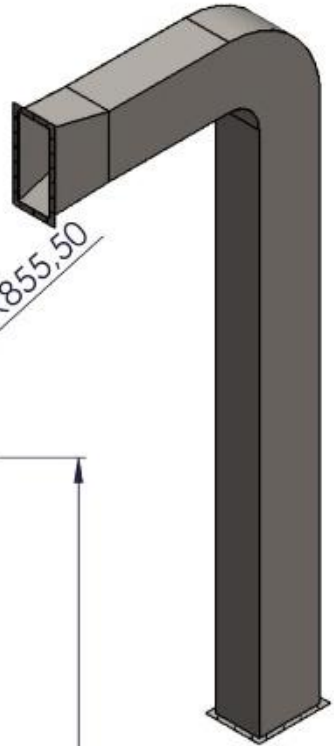
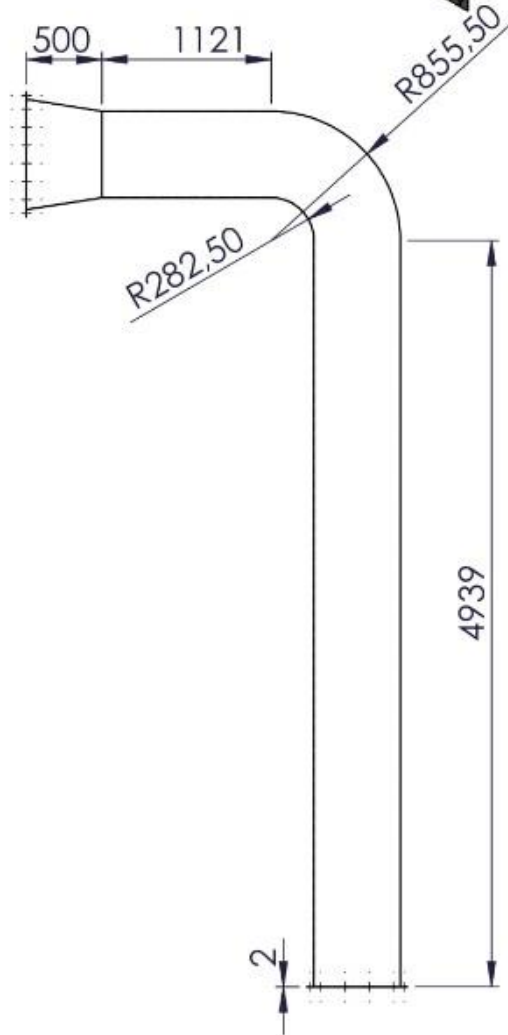
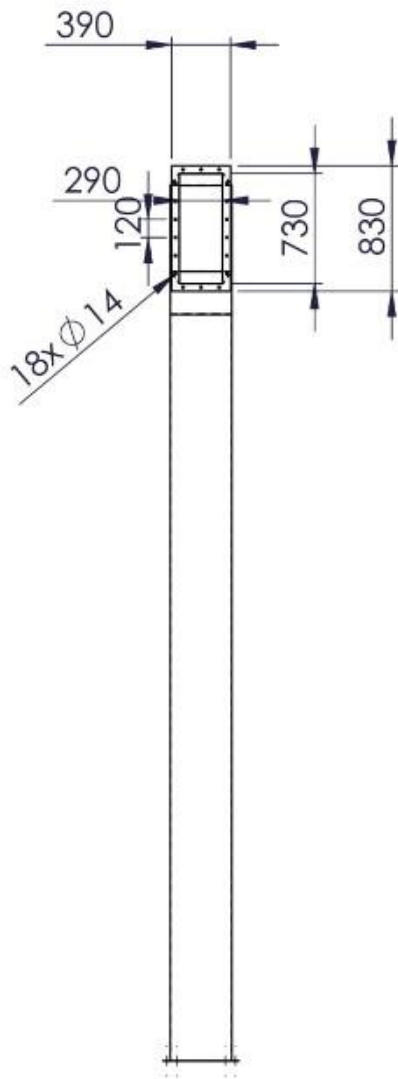
SISTEMA DE DUCTOS		ÁREA DE PRODUCCIÓN	
Equipo		Tolerancias	M.º Hoja
Contiene	Dimensiones y componentes del sistema de ductos	Tratamiento	4
Proyecto	Diseño de un sistema de extracción de material particulado para el área de producción	Masa	1.378 kg
ESPOL	Material Acero Galvanizado	Normativa	INT-DUCTOS
		Unidades	mm
		ESCALA:	1:200
		Sust. por:	A3

A B C D E F

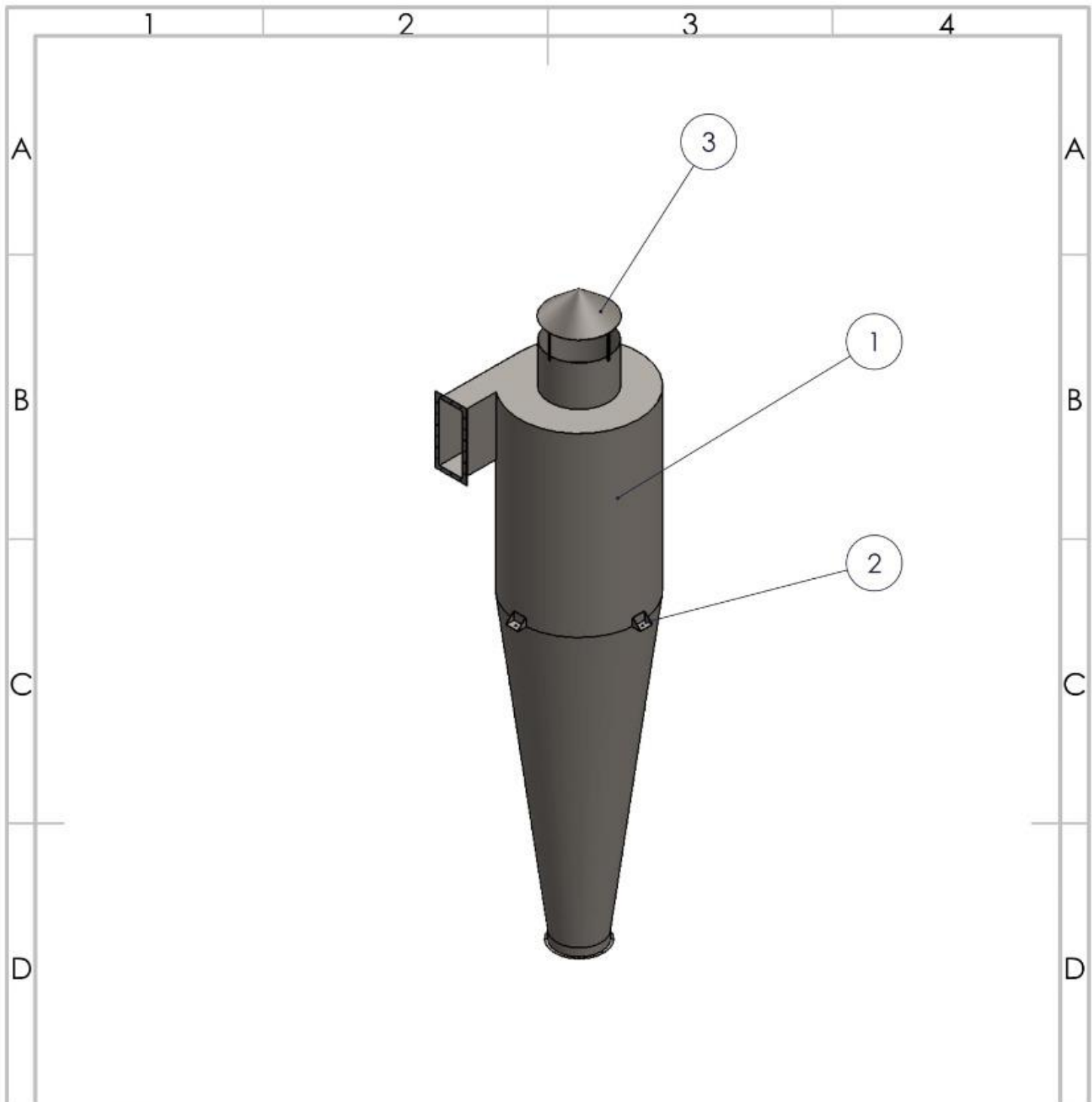
1 2 3 4 5 6 7 8

A B C D E F

1 2 3 4 5 6 7 8

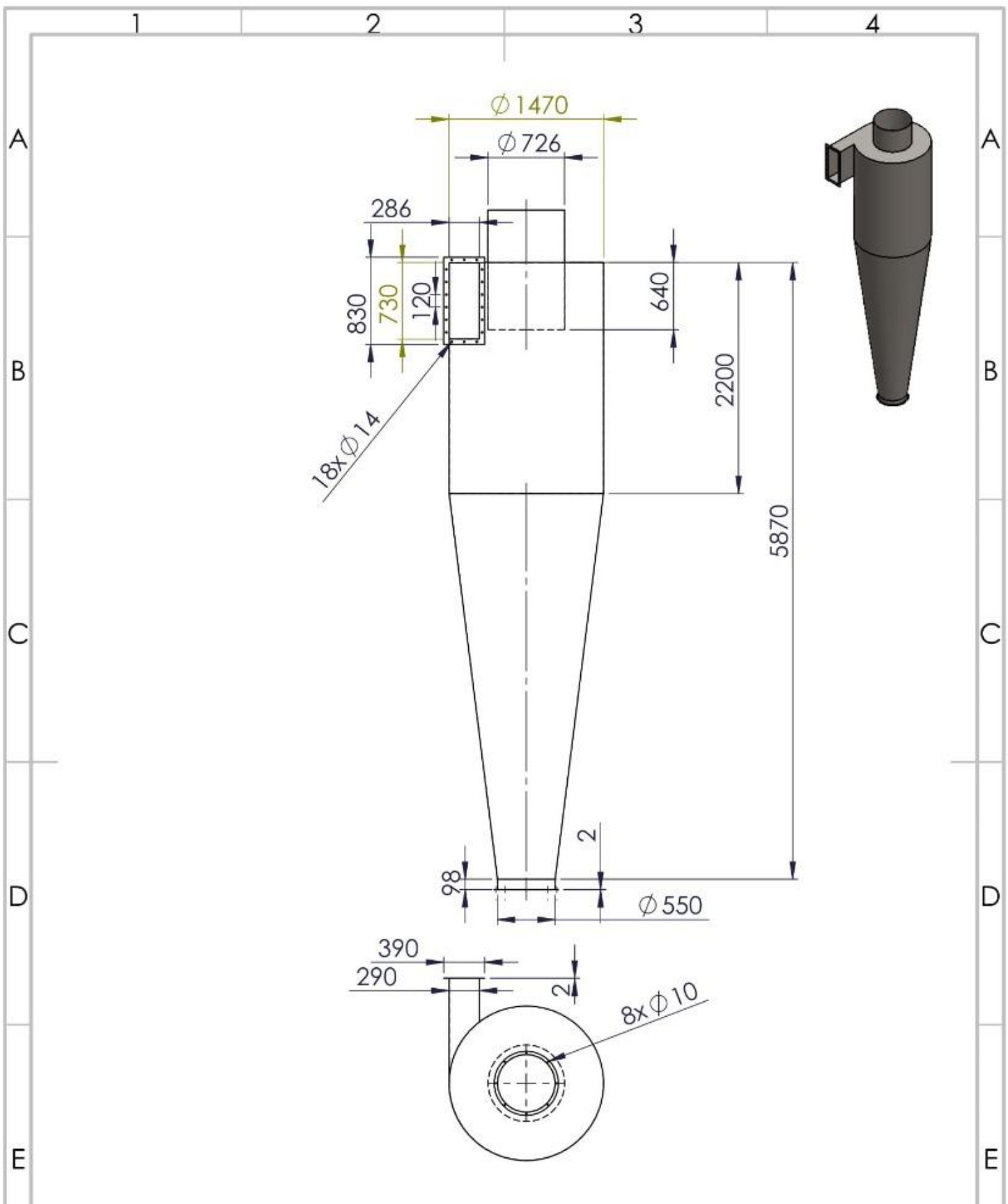


Equipo		CONEXIÓN VENTILADOR CON CICLÓN		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		Ramal que conecta la salida del ventilador con la entrada del ciclón		Tolerancias	Nº. Hoja	Dib.	B. Quinde 16/1/2020
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado para el área de producción		Tratamiento	5	Rev.	Ing. León 20/1/2020
Materiales		Acero Galvanizado		Masa	233 Kg	Apro.	Ing. León 24/1/2020
ESPOL				Normativa		Sustituye a:	
				Unidades mm		Sust. por:	
						ESCALA:	
						1:50	
						A4	



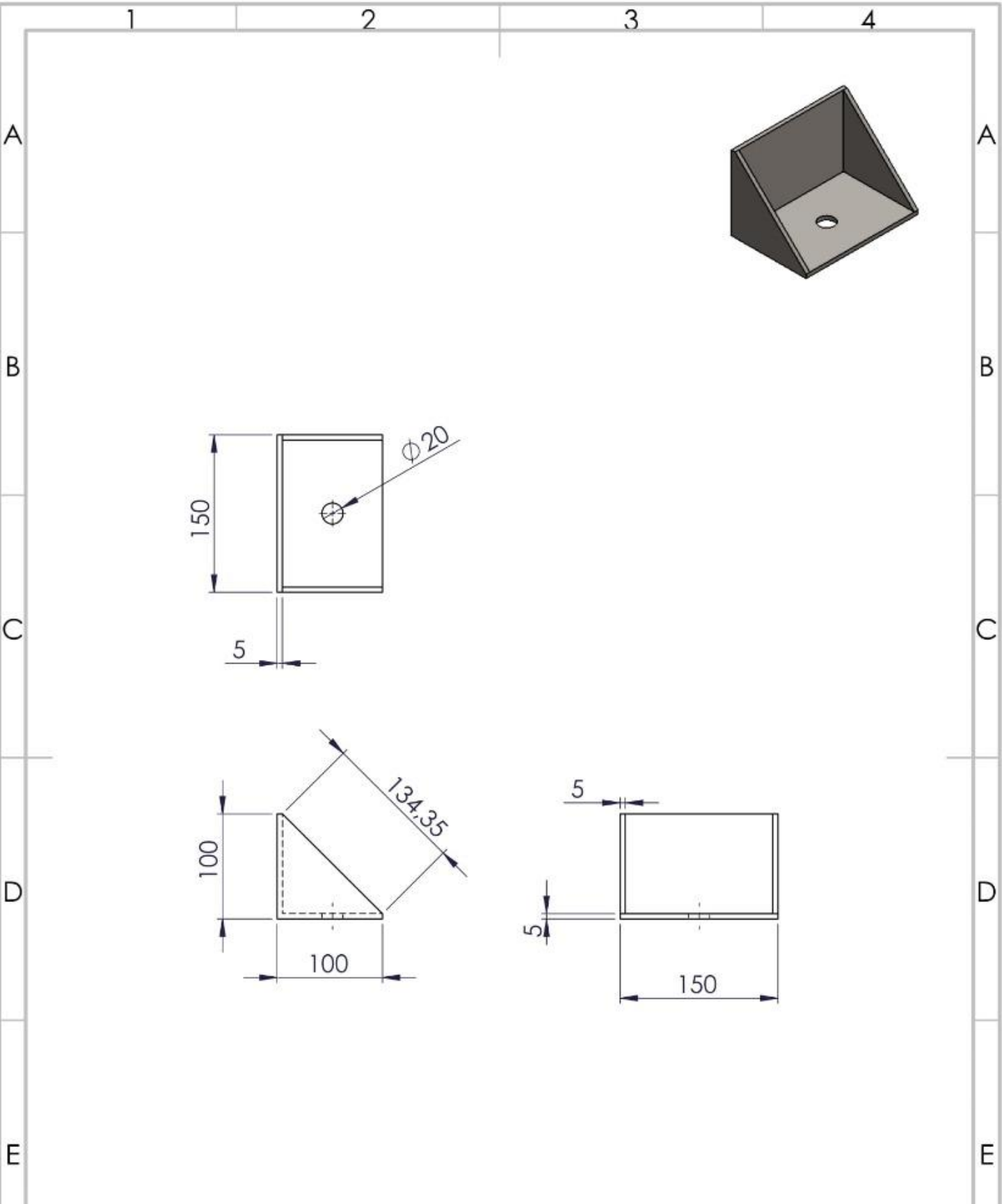
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Ciclón	Acero ASTM A36, e: 2mm	1
2	Topes de ciclón	Acero ASTM A36, e: 2mm	4
3	Tapa de ciclón	Acero ASTM A36, e: 2mm	1

Equipo		SISTEMA DE FILTRADO		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		Tolerancias	Nº. Hoja	6		Dib. B. Quinde	16/1/2020
Proyecto		Tratamiento	Plano N°.	INT-CICLÓN-1		Rev. Ing. León	20/1/2020
Diseño de un sistema de extracción de material particulado para el área de producción		Masa	441 Kg		Apro. Ing. León		
Materiales		Acero ASTM A36		Normativa		Sustituye a:	
Acero Galvanizado		Unidades mm		ESCALA:		Sust. por:	
ESPOL				1:50		A4	

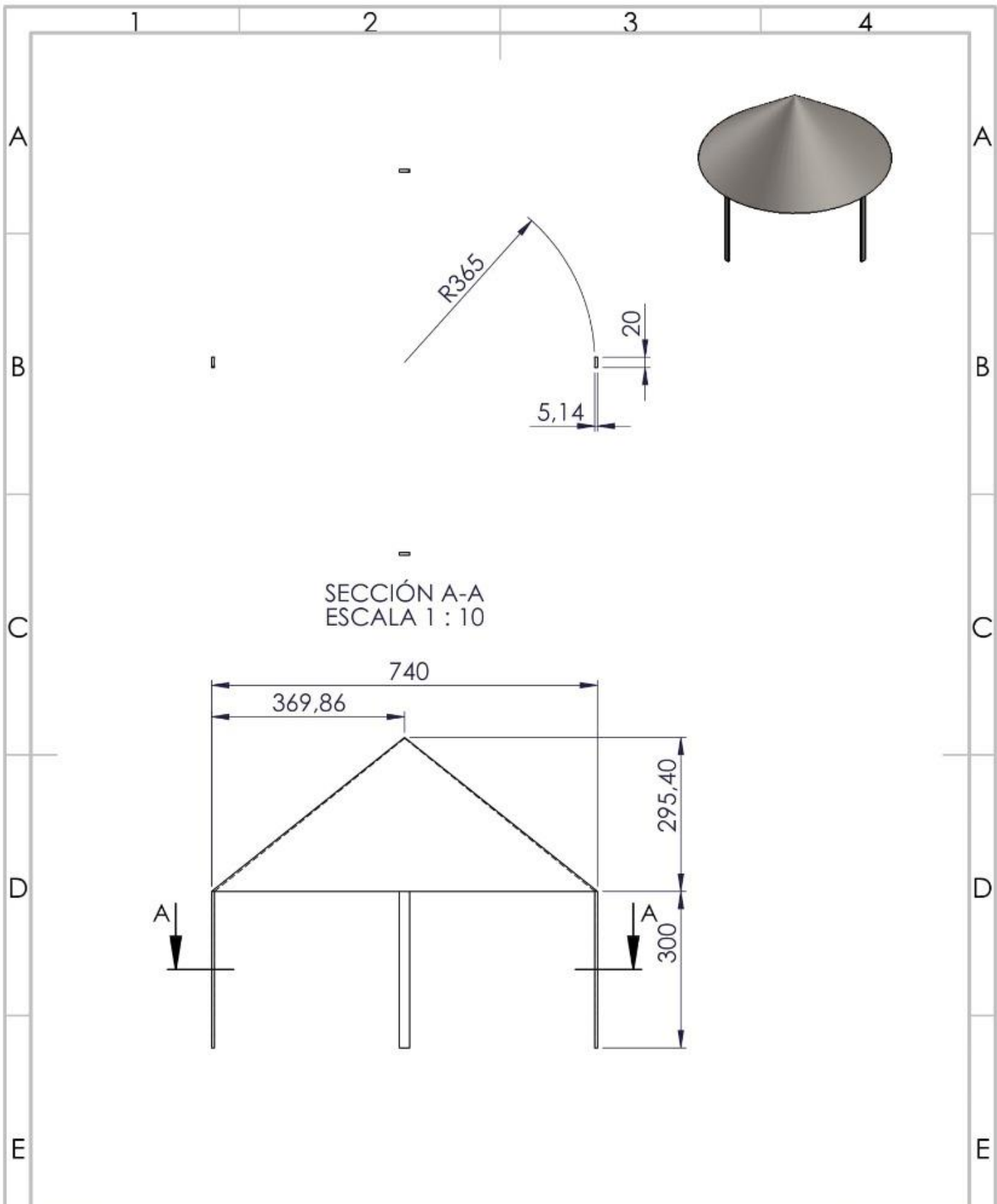


Equipo		SISTEMA DE FILTRADO		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		Ciclón		Tolerancias	Nº. Hoja	Dib.	B. Quinde
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado para el área de producción		Tratamiento	7	Rev.	Ing. León
Materiales		Acero ASTM A36		Masa	420 Kg	Apro.	Ing. León
ESPOL				Plano N°.		Sustituye a:	
				INT-CICLÓN-2		Sust. por:	
				Normativa		ESCALA:	
				Unidades mm		1:100	
						A4	

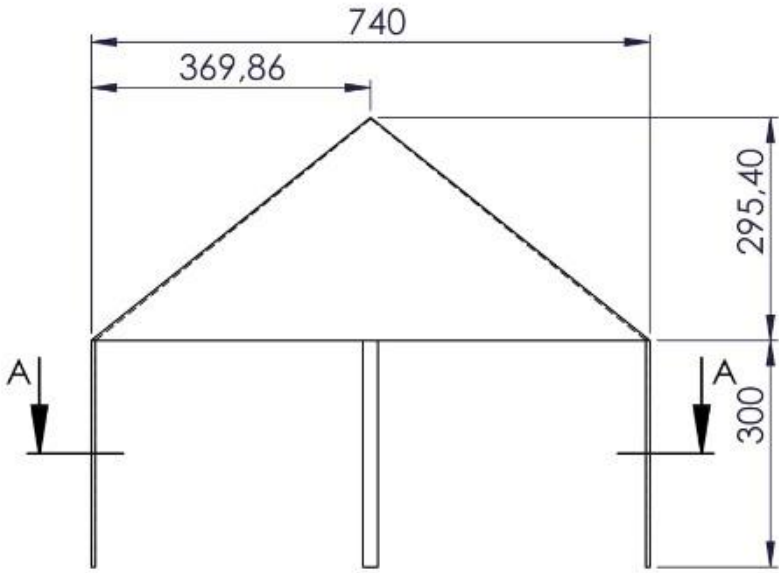




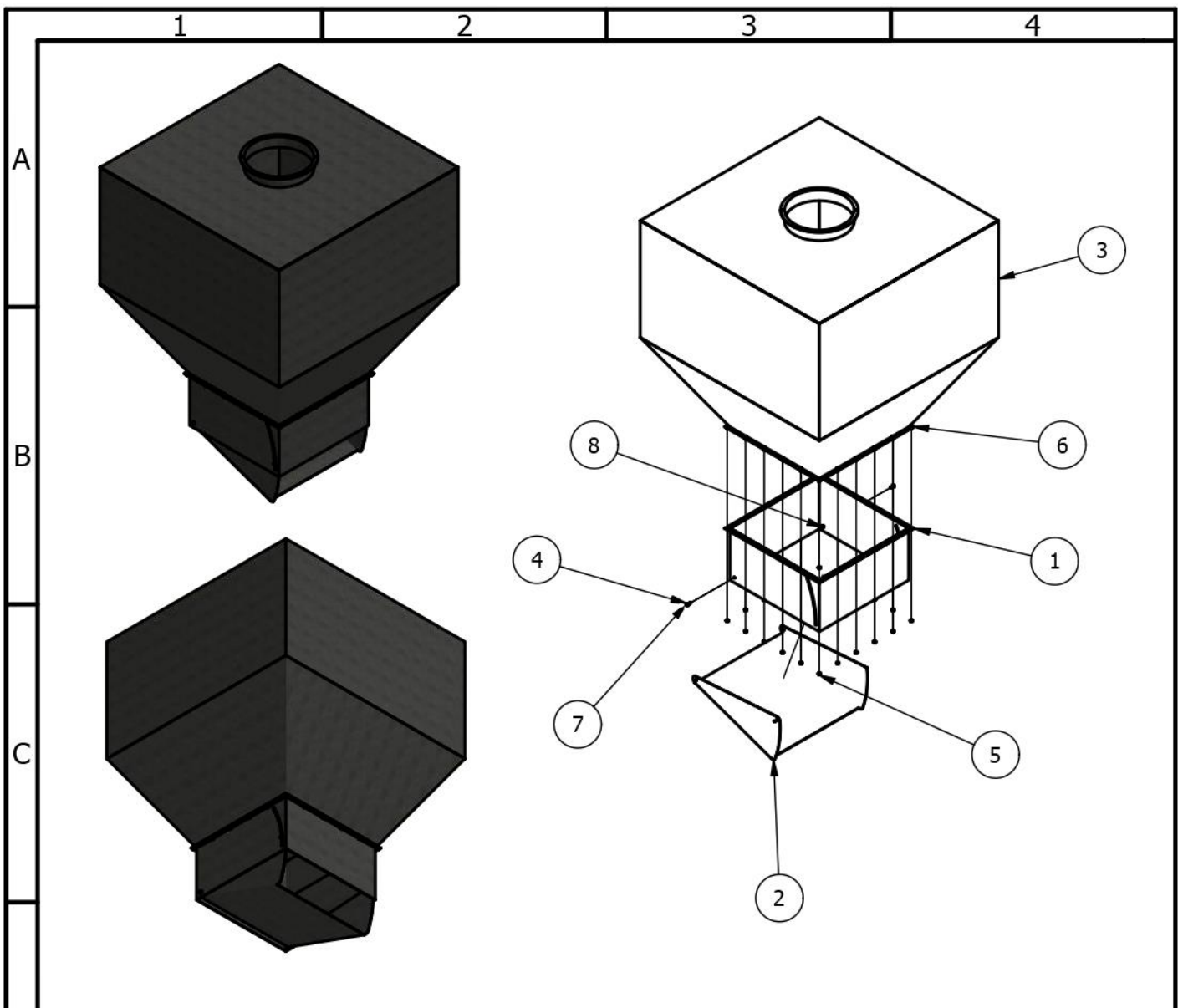
Equipo		SISTEMA DE FILTRADO		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		Tops de sujeción		Tolerancias	Nº. Hoja	Dib.	B. Quinde
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado para el área de producción		Tratamiento	8	Rev.	Ing. León
Materiales		Acero ASTM A36		Masa	1.5 Kg	Apro.	Ing. León
Espol				Normativa	INT-CICLÓN-3	Sustituye a:	
				Unidades mm		Sust. por:	
						ESCALA:	
						1:5	A4



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 10



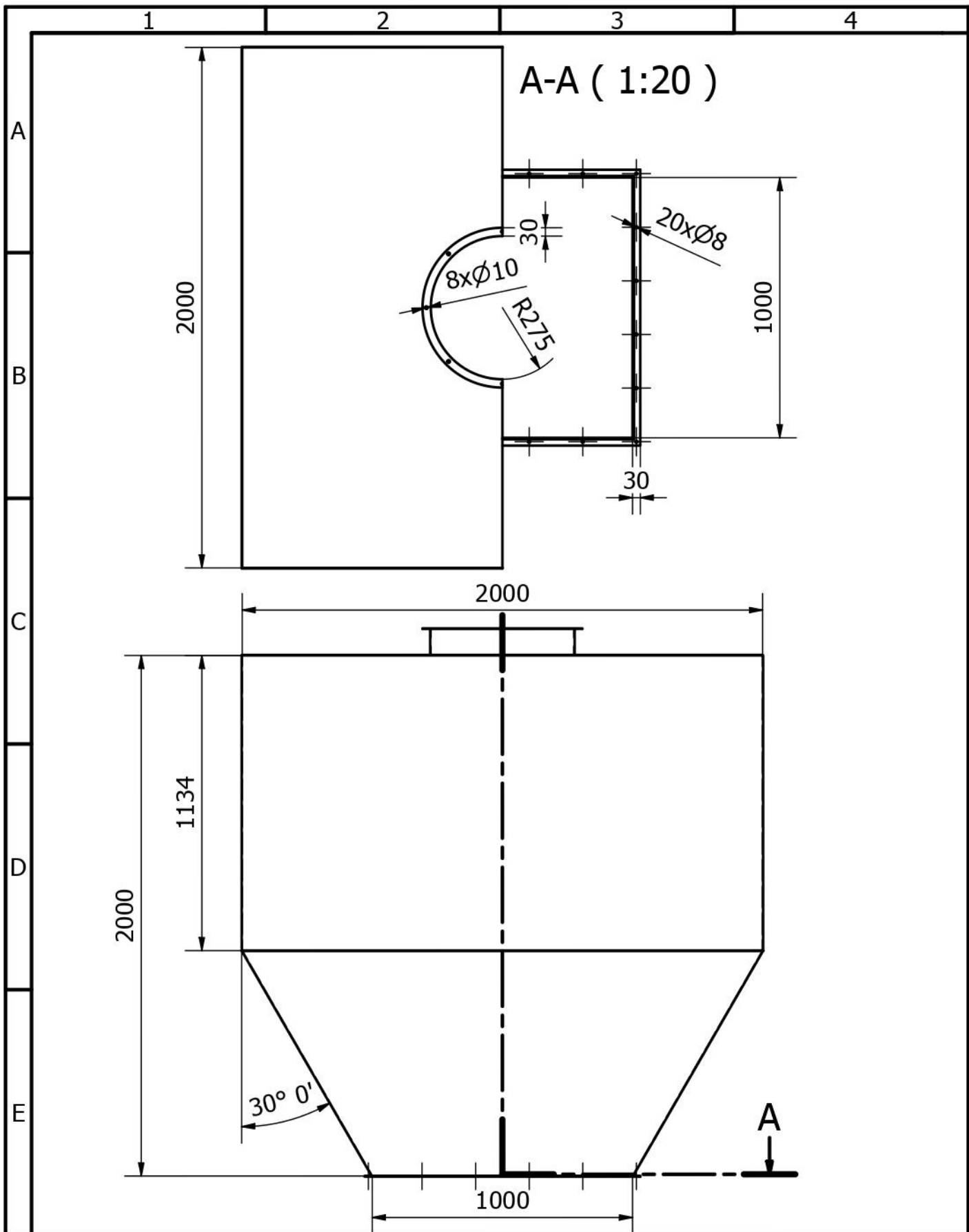
Equipo		SISTEMA DE FILTRADO		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		Tapa de ciclón		Tolerancias	Nº. Hoja	Dib.	B. Quinde
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado para el área de producción		Tratamiento	9	Rev.	Ing. León
Materiales		Acero ASTM A36		Masa	15 Kg	Apro.	Ing. León
Espol				Normativa	INT-CICLÓN-4	Sustituye a:	
Unidades mm		ESCALA:		1:10		A4	

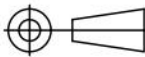


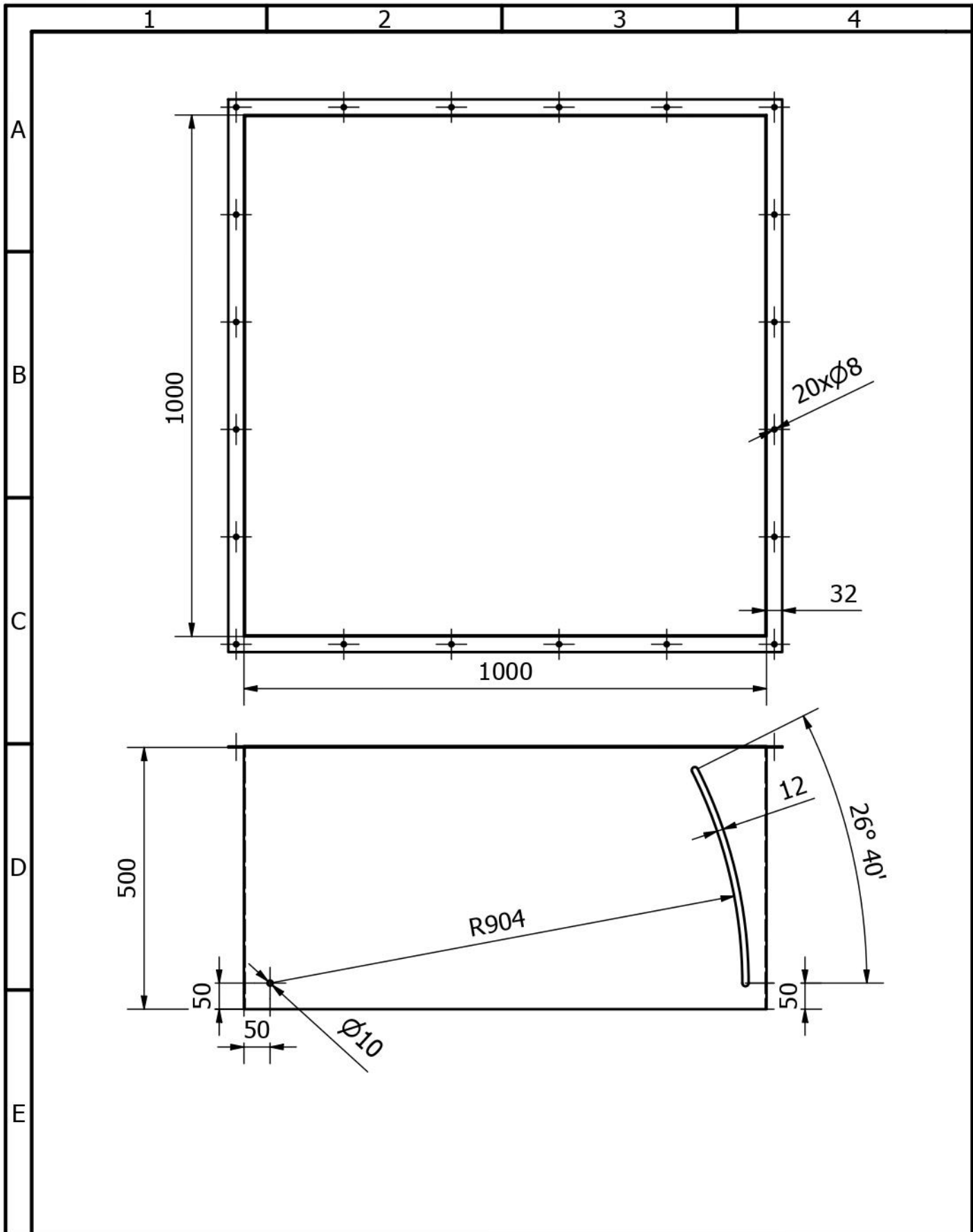
1	1	Base compuerta descarga	Plancha laminada en caliente e=2mm	ASTM A36	NTE INEN 115
2	1	Tapa compuerta descarga	Plancha laminada en caliente e=2mm	ASTM A36	NTE INEN 115
3	1	Tolva	Plancha laminada en caliente e=2mm	ASTM A36	NTE INEN 115
4	24	ISO 7089 - 10	Plain washers - Normal series - Product grade A	Stainless Steel	ISO 7089
5	20	ISO 4032 - M10	Hexagon nuts, style 1 - Product grades A and B	Stainless Steel, 440C	ISO 4032
6	20	ISO 4017 - M10 x 20	Hexagon head screws	Stainless Steel, 440C	ISO 4017
7	2	ISO 8676 - M10 x 1 x 30	Hexagon head screws with metric fine pitch thread	Stainless Steel, 440C	ISO 8676
8	2	ISO 8673 - M10x1	Hexagon nuts, style1, with metric fine pitch thread - product A and B	Stainless Steel, 440C	ISO 8673
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	STANDARD

PARTS LIST

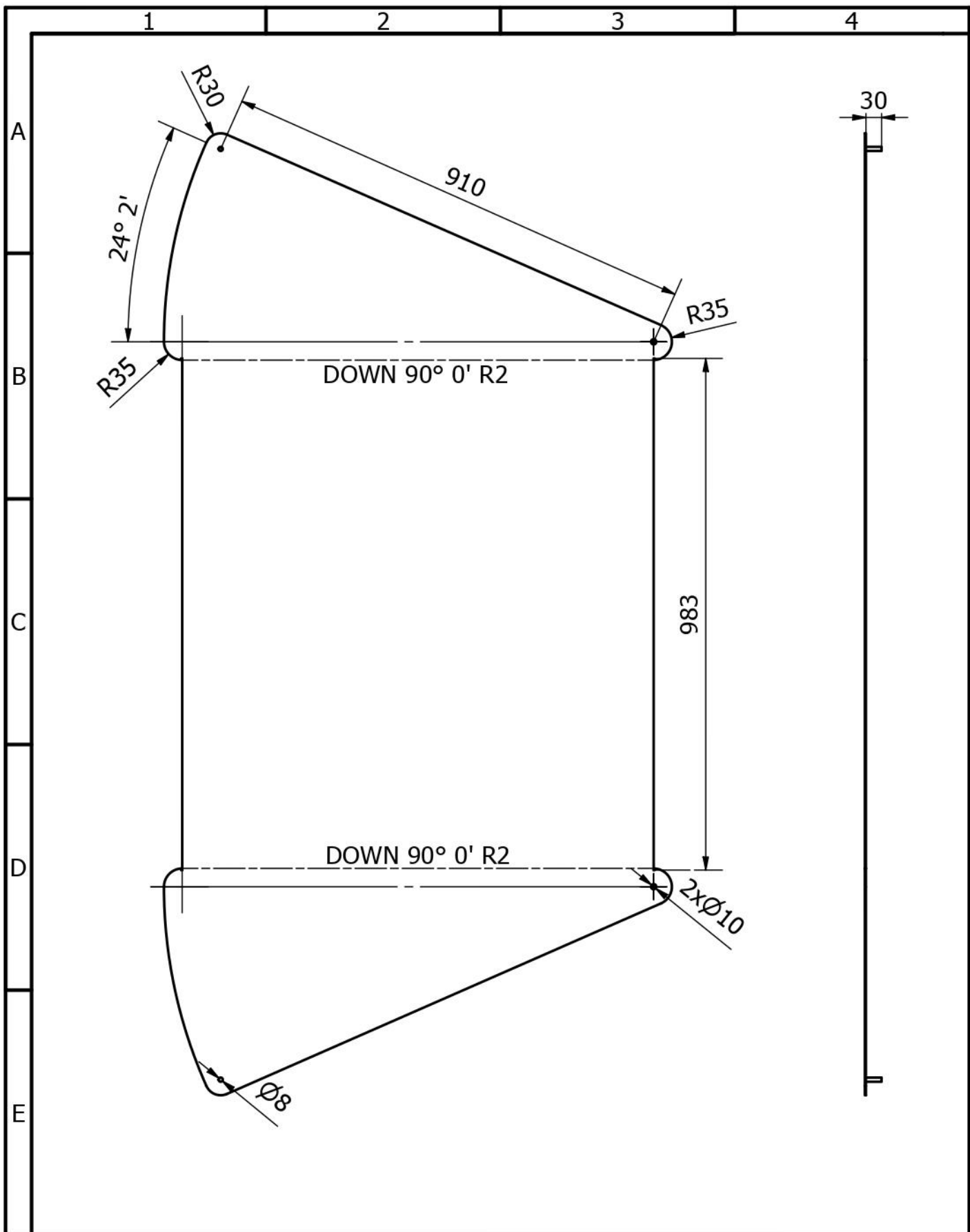
Equipo		TOLVA DE ALMACENAMIENTO		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		Partes y vista en explosión de tolva de almacenamiento		Tolerancias	Nº. Hoja	Dib.	R. Fierro 06/1/2020
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de producción		Tratamiento	10	Rev.	Ing. León 18/1/2020
				Masa	Plano Nº.	Apro.	Ing. León 18/1/2020
				Rol. Cal.	INT-TOLV-001	Sustituye a:	
				N/A		Sust. por:	
Materiales		Acero ASTM A36, Acero inox. 440C		Normativa		ESCALA:	
ESPOL				IS918.1.1979 IS918.2.1979 IS918.3.1979		1 : 50	
				Unidades		A4	
				Milímetros			



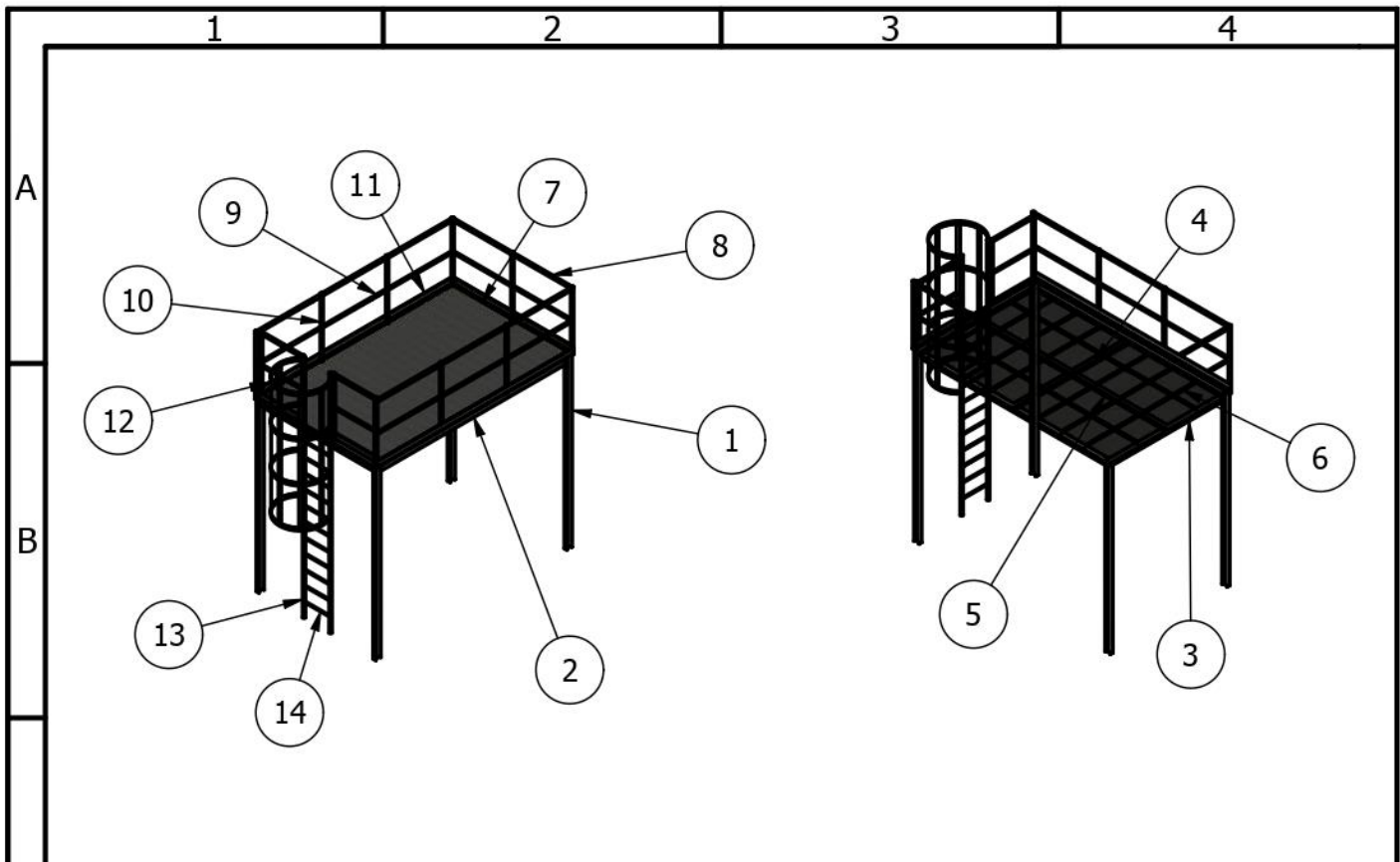
Equipo		TOLVA DE ALMACENAMIENTO		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		Dimensiones de cuerpo de tolva		Tolerancias	Nº. Hoja	Dib.	R. Fierro 01/1/2020
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de producción		Tratamiento	11	Rev.	Ing. León 20/1/2020
Materiales		Acero ASTM A36		Masa	N/A	Apro.	Ing. León 20/1/2020
ESPOL				Normativa	INT-TOLV-002	Sustituye a:	
				Unidades	Milímetros	Sust. por:	
						ESCALA:	A4
						1:20	



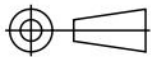
Equipo		TOLVA DE ALMACENAMIENTO		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		Dimensiones de base de compuerta de descarga		Tolerancias	Nº. Hoja	Dib.	R. Fierro 06/1/2020
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de producción		Tratamiento	12	Rev.	Ing. León 22/1/2020
				Rol. Cal.	Plano Nº.	Apro.	Ing. León 22/1/2020
				Masa	33.378 kg	Sustituye a:	
				INT-TOLV-003		Sust. por:	
Materiales		Acero ASTM A36		Normativa		ESCALA:	
ESPOL				IS918.1.1979 IS918.2.1979 IS918.3.1979		1:10	
				Unidades		A4	
				Milímetros			

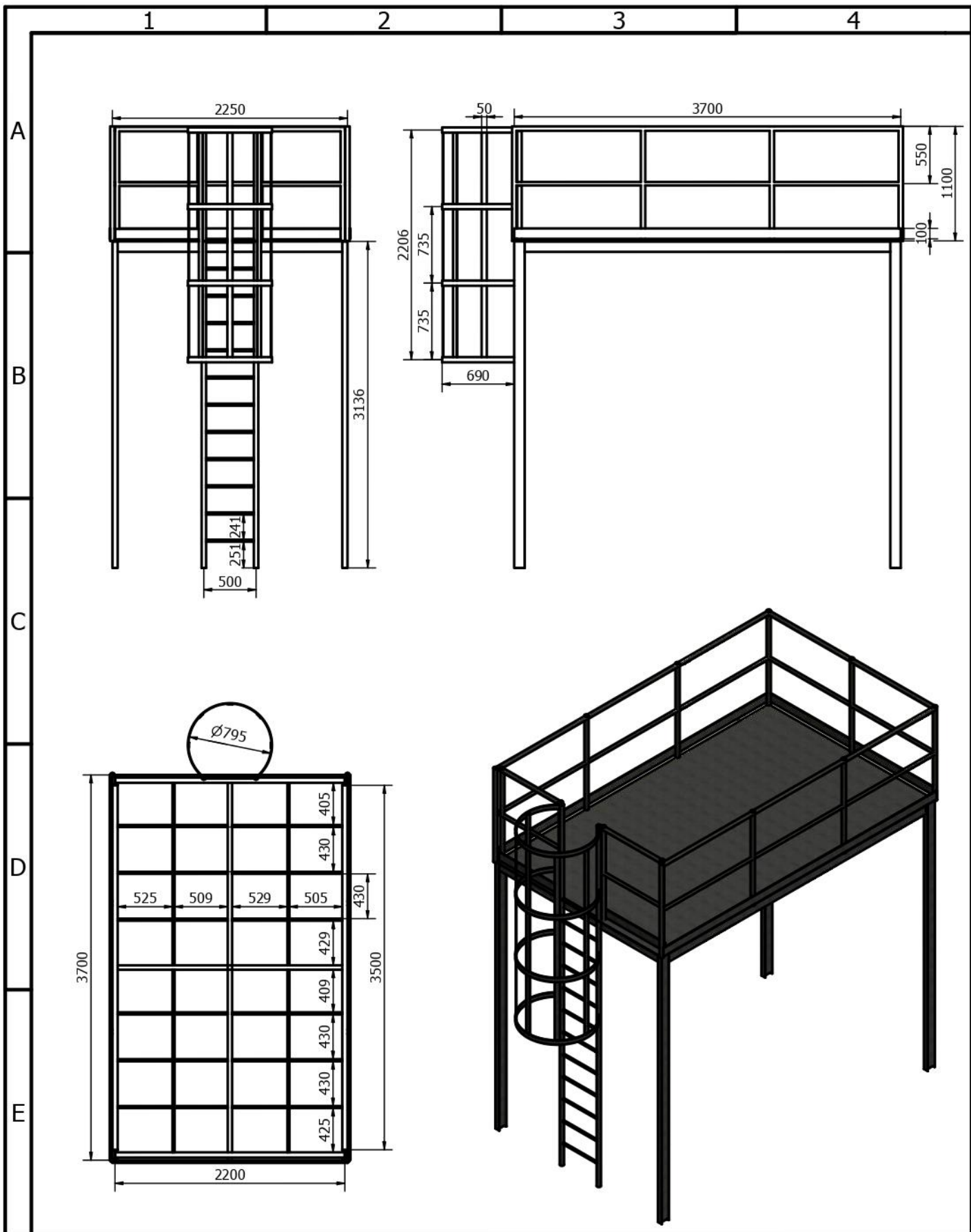


Equipo		TOLVA DE ALMACENAMIENTO		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		Dimensiones de tapa de compuerta de descarga		Tolerancias	Nº. Hoja	Dib.	R. Fierro 06/1/2020
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de producción		Tratamiento	13	Rev.	Ing. León 22/1/2020
				Rol. Cal.	Plano Nº.	Apro.	Ing. León 22/1/2020
				Masa	21.757 kg	Sustituye a:	
				INT-TOLV-004		Sust. por:	
Materiales		Acero ASTM A36		Normativa		ESCALA:	
ESPOL				IS918.1.1979 IS918.2.1979 IS918.3.1979		1:10	
				Unidades		A4	
				Milímetros			



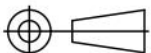
C	1	Columna	IPN100	ASTM A36	RTE INEN 018
	2	Viga principal	IPN100	ASTM A36	RTE INEN 018
	3	Viga principal	IPN100	ASTM A36	RTE INEN 018
	4	Viga secundaria	IPN80	ASTM A36	RTE INEN 018
	5	Viga secundaria	IPN80	ASTM A36	RTE INEN 018
	6	Vigueta	Ángulo L40x3	ASTM A36	NTE INEN 1623
	7	Piso	Plancha antideslizante e=2mm	ASTM A46	NTE INEN 115
	8	Barra de agarre de pasamano	Tubo redondo 38.1x1.4mm	ASTM A500 Gr. A	NTE INEN 2415
D	9	Barra media de pasamano	Tubo redondo 31.8x1.4mm	ASTM A500 Gr. A	NTE INEN 2415
	10	Columna de pasamano	Tubo redondo 38.1x1.4mm	ASTM A500 Gr. A	NTE INEN 2415
	11	Rodapie de pasamano	Plancha laminada en caliente e=2mm	ASTM A36	NTE INEN 115
	12	Jaula de seguridad de escalera recta	Plancha laminada en caliente e=2mm	ASTM A36	NTE INEN 115
	13	Alfarda de escalera recta	Tubo redondo 38.1x1.4mm	ASTM A500 Gr. A	NTE INEN 2415
E	14	Peldaño de escalera recta	Varilla redonda VRL18	ASTM A36	NTE INEN 102
	ITEM	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	STANDARD
<b>PARTS LIST</b>					

Equipo		PLATAFORMA DE VENTILADOR		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
						Dib.	R. Fierro 15/1/2020
Contiene		Componentes de plataforma		Tolerancias	Nº. Hoja	Rev.	Ing. León 17/1/2020
				Tratamiento	14	Apro.	Ing. León 17/1/2020
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de producción		Rol. Cal.		Plano Nº.	Sustituye a:
				Masa	790.327 kg	Sust. por:	
				INT-PLAT-001			
ESPOL				Materiales		Normativa	
				Acero ASTM A36, Acero ASTM A46, Acero ASTM A500 Gr. A		AISC 360-10	
						Unidades	
						Milímetros	
						ESCALA:	
						1:100	
						A4	



Equipo		PLATAFORMA DE VENTILADOR		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		DIMENSIONES DE PLATAFORMA		Tolerancias	Nº. Hoja	Dib.	R. Fierro 15/1/2020
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de producción		Tratamiento	15	Rev.	Ing. León 17/1/2020
Masa		790.327 kg		Rol. Cal.	Plano Nº.	Apro.	Ing. León 17/1/2020
Materiales		Acero ASTM A36, Acero ASTM A46, Acero ASTM A500 Gr. A		INT-PLAT-001		Sustituye a:	
Normativa		AISC 360-10		Unidades		Sust. por:	
Milímetros		ESCALA:		1 : 50		A4	

ESPOL



Materiales

Acero ASTM A36, Acero ASTM A46, Acero ASTM A500 Gr. A

Normativa

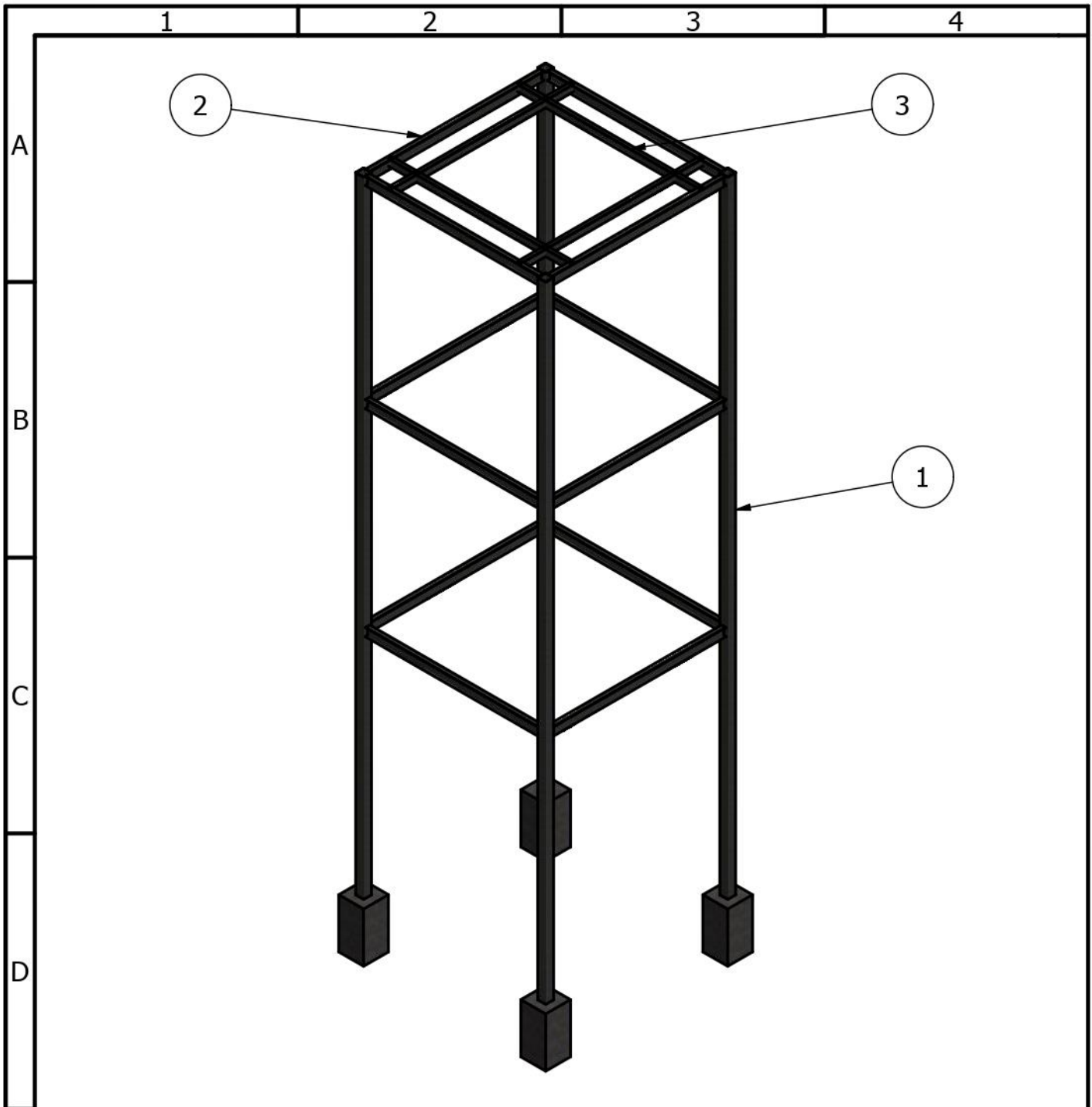
AISC 360-10  
Unidades  
Milímetros

ESCALA:

1 : 50

A4



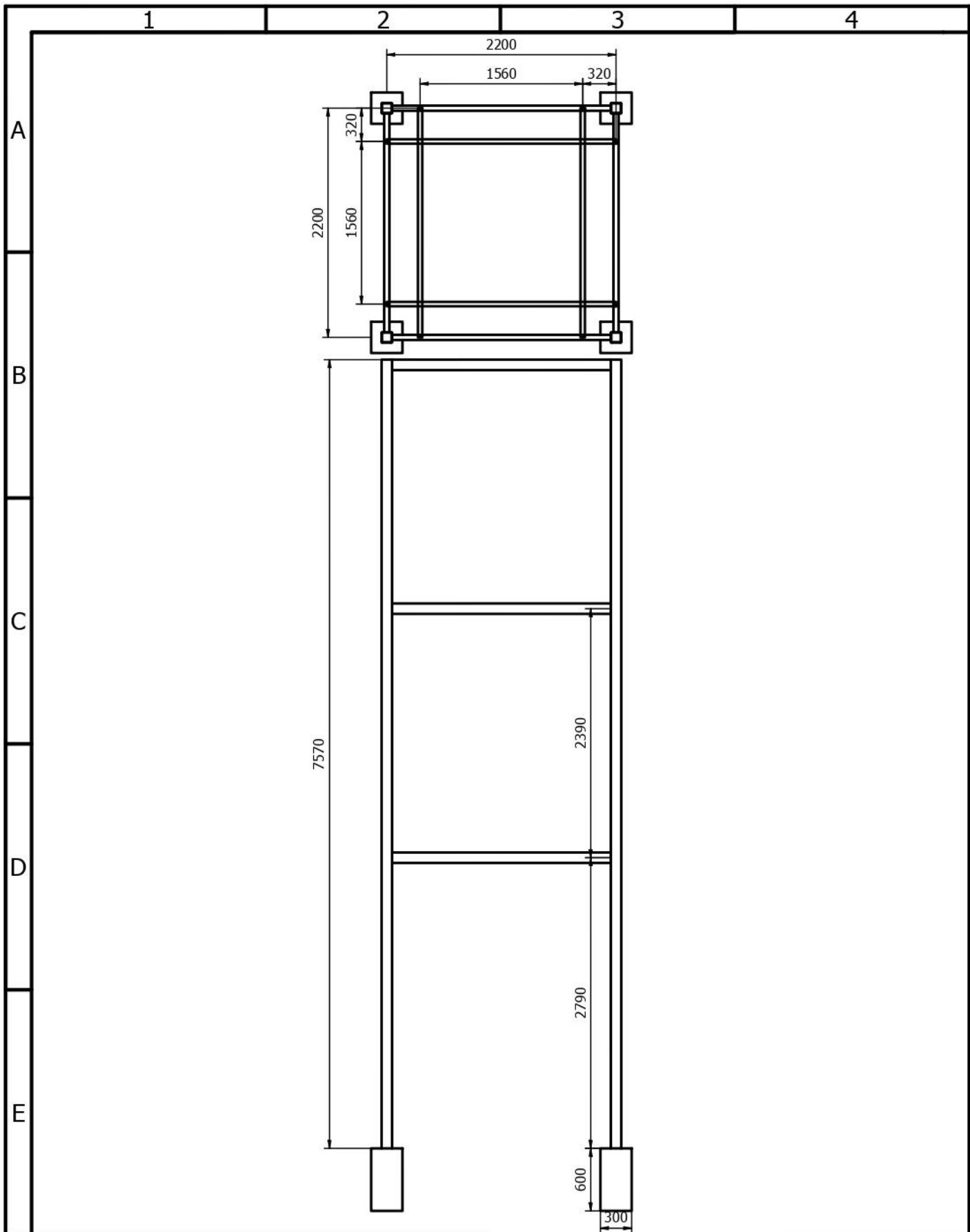


1	4	Columnas	Tubo cuadrado 100x3mm	ASTM A500 Gr. B	NTE INEN 2415
2	12	Vigas de amarre	IPN100	ASTM A36	RTE INEN 018
3	4	Descanso de ciclón	IPN80	ASTM A36	RTE INEN 018

ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION	MATERIAL	STANDARD
------	-----	-------------	-------------	----------	----------

**PARTS LIST**

Equipo		TORRE DE CICLÓN-TOLVA		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		Partes de torre de ciclón-tolva		Tolerancias	Nº. Hoja	Dib.	R. Fierro 24/1/2020
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de producción		Tratamiento	16	Rev.	Ing. León 24/1/2020
				Masa	1137.776 kg	Apro.	Ing. León 24/1/2020
				Rol. Cal.	Plano Nº.	Sustituye a:	
					INT-TORR-001	Sust. por:	
Materiales		Acero ASTM A36, Acero ASTM A500 Gr. B		Normativa		ESCALA:	
ESPOL				AISC 360-10		1 : 50	
				Unidades		A4	
				Milímetros			



Equipo		TORRE DE CICLÓN-TOLVA		ÁREA DE PRODUCCIÓN		Nombre	Fecha
Contiene		Dimensiones de torre		Tolerancias	Nº. Hoja	Dib.	R. Fierro 24/1/2020
Proyecto		Diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de producción		Tratamiento	17	Rev.	Ing. León 24/1/2020
Masa		1137.776 kg		Rol. Cal.	Plano Nº.	Apro.	Ing. León 24/1/2020
Materiales		Acero ASTM A36, Acero ASTM A500 Gr. B		INT-TORR-002		Sustituye a:	
Normativa		AISC 360-10		Unidades		ESCALA:	
Milímetros		1 : 50		A4			

## APÉNDICE F: REPRESENTACIÓN DE LAS GUARDAS

### Sierra de mesa

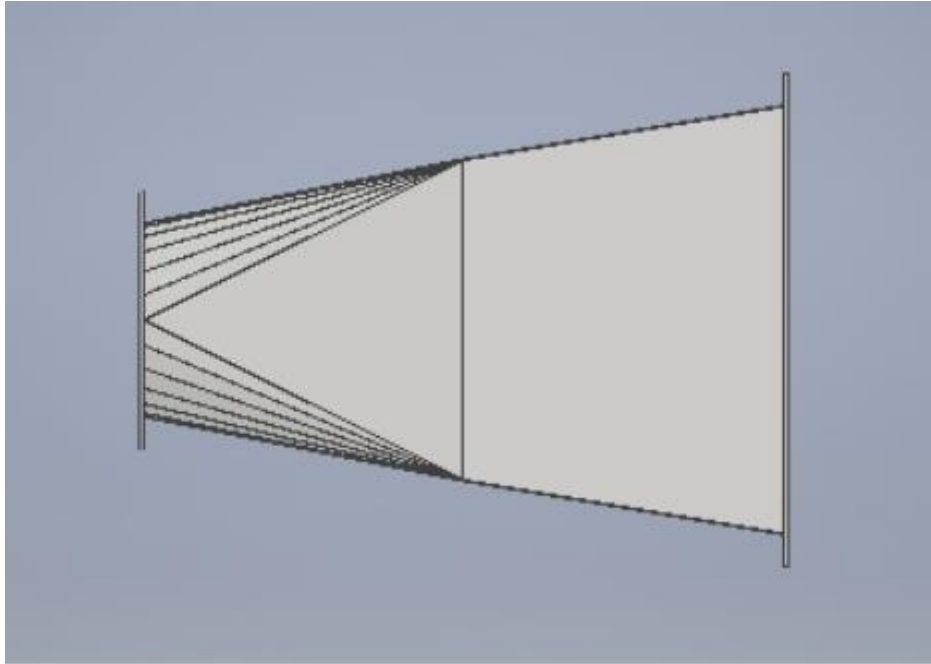


Figura F.1: Guarda inferior sierra de mesa.  
[Elaboración propia]

### Péndulo

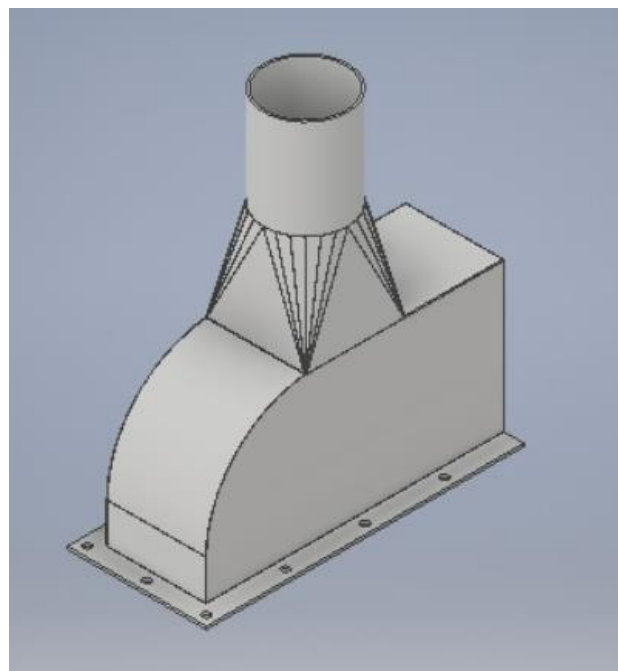


Figura F.2: Guarda superior péndulo.

[Elaboración propia]

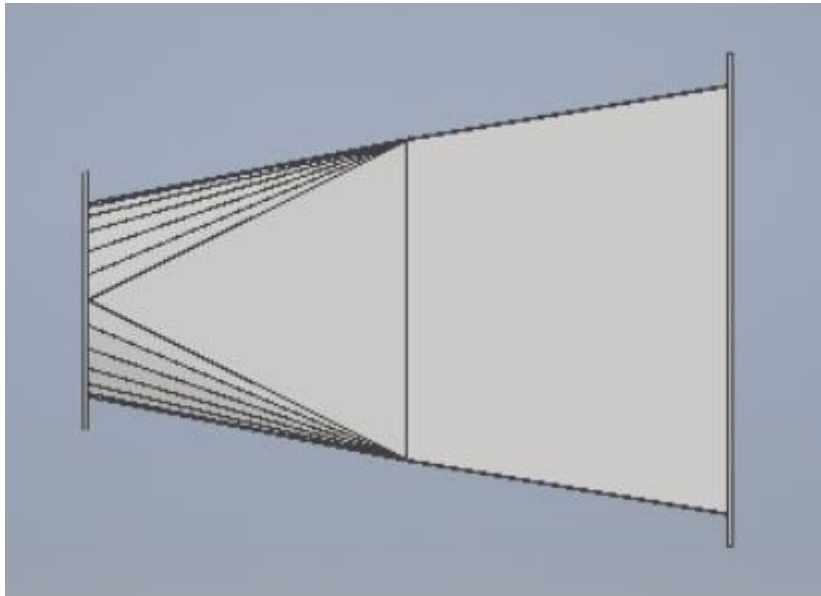


Figura F.3: Guarda inferior péndulo.

[Elaboración propia]

Múltiple

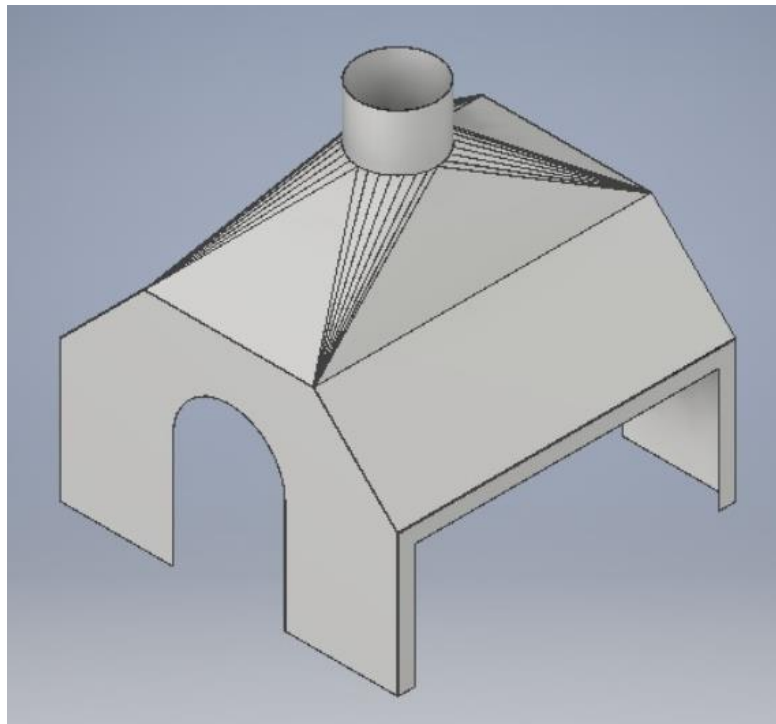
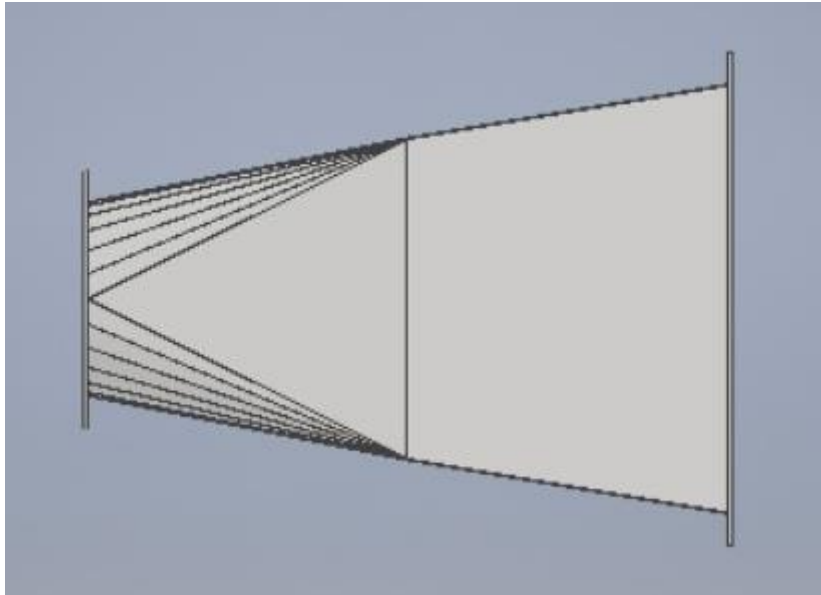


Figura F.4: Guarda superior múltiple.

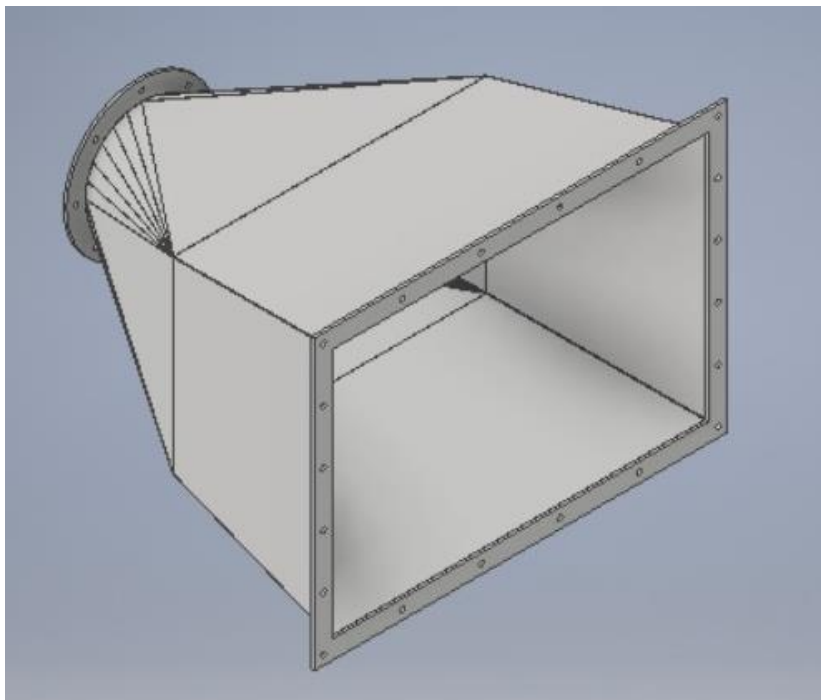
[Elaboración propia]



**Figura F.5: Guarda inferior múltiple.**  
[Elaboración propia]

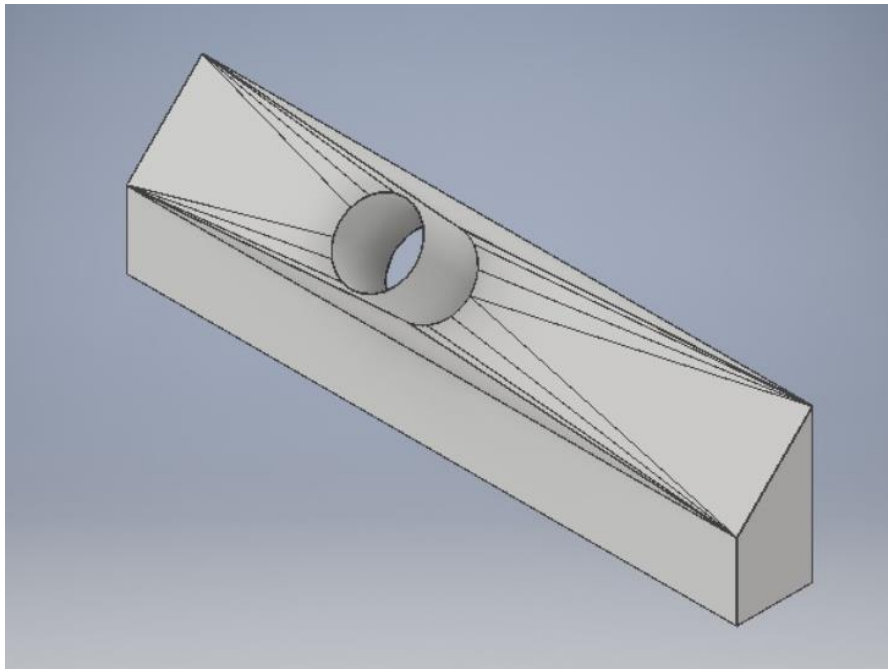
**Canteadora**

Guarda Inferior



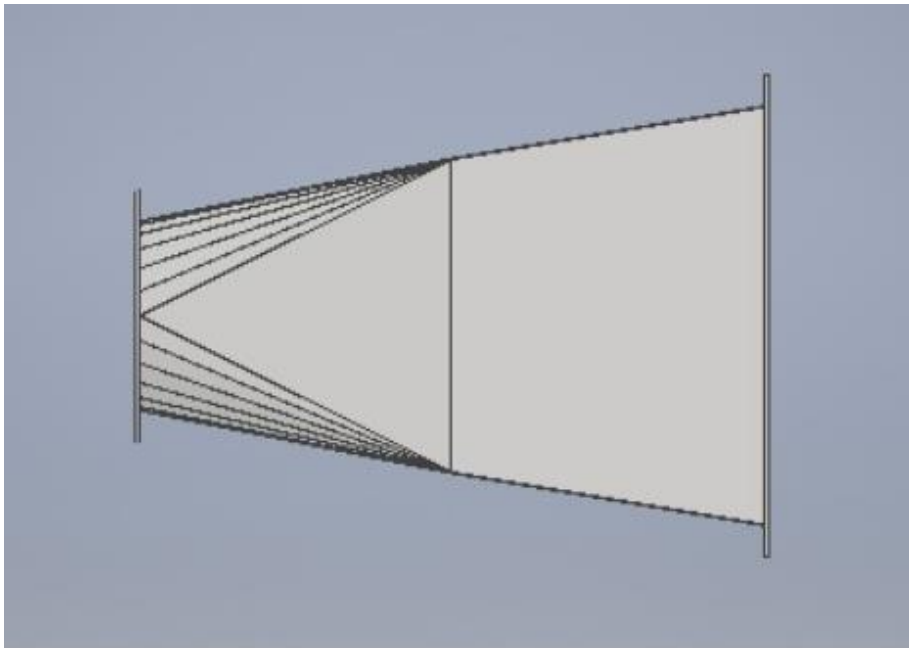
**Figura F.6: Guarda inferior canteadora.**  
[Elaboración propia]

## Cepillo



**Figura F.7: Guarda superior cepillo.**  
[Elaboración propia]

## Pulidora



**Figura F.8: Guarda inferior pulidora.**  
[Elaboración propia]

## **APÉNDICE G: DOCUMENTACIÓN**



**FIMCP**  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Producción  
Universidad de Loja

Materia Integradora de Ingeniería Mecánica MECG1026, 2019 - Término II  
Registro de Reuniones del Proyecto

Paralelo: 1  
 Profesor Coordinador: H. Sc. Jorge Mancías  
 Proyecto: Diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de producción

Reunión No.	Fecha	Estudiante	Profesor Tutor	Retroalimentación del Tutor
1	17/10/19	Bryan Quinde Ricardo Fierro	H. Sc. Jonathan S. León	- Acta de constitución del proyecto
2	21/10/19	Bryan Quinde Ricardo Fierro	H. Sc. S. León	- Revisión del acta de constitución - Revisión congresos - Revisión de normas / métodos de medición concentrada
3	30/10/19	Bryan Quinde Ricardo Fierro	S. León	- Bibliografía (alternativa de diseño) - Consejo redacción del Cap 1. - Modificación del postulado
4	11/11/19	Bryan Quinde Ricardo Fierro	S. León	- Detallar los métodos de toma y selección - Capítulo 1
5	18/11/19	Bryan Quinde Ricardo Fierro	S. León	- Revisión del texto y de la presentación - Consejo el diseño detallado de los sistemas seleccionados
6	8/12/19	Bryan Quinde Ricardo Fierro	S. León	- Planificación de pruebas de laboratorio (denom + Admisión) - distado de equipos o utillaje





**FIMCOP**  
Facultad de Ingeniería y Mecánica  
Universidad Politécnica de Loja

Materia Integradora de Ingeniería Mecánica MECG1026, 2019 - Termino II  
Registro de Reuniones del Proyecto

Paralelo: 1  
 Profesor Coordinador: M. Sc. Jorge Marcial  
 Proyecto: Diseno de un sistema de extracción de material particulado en el area de producción.

Reunión N°.	Fecha	Estudiante	Profesor Tutor	Retrosalamentación del Tutor
7	6/01/2020	Quimb Ferre		Revisar las mediciones en el local Redactar el informe
8	13/01/2020	Quimb Ferre		- Resultados de las mediciones y como aplicar sobre los calculos. - Redactar el informe
9	20/01/2020	Quimb Ferre		- Entrega de informe y conclusiones
10	27/01/2020	Quimb Ferre		- Revisión del documento.
11	27/01/2020	Quimb Ferre		- Revisión del documento.



**FIMCP**  
Facultad de Ingeniería Mecánica  
y Ciencias de la Producción

Materia Integradora de Ingeniería Mecánica MECG1026, 2019 - Termino II  
Registro de Entrevistas con Contactos Externos

Paralelo: 4  
Profesor Coordinador: Ing. Jorge Marcial  
Proyecto: Diseño de un Sistema de Extracción de Material Particulado en el área de Producción

Reunión No.	Fecha	Estudiante	Nombre del Contacto	Email / teléfono de Contacto
1	24/10/19	Bryan Quinch Ricardo Fierro	Gonzalo Zabala	gzabala@espol.edu.ec
Descripción del Contacto: <u>Profesor Fimcp</u>				
Comentarios: <u>Se habló sobre los tipos de extracción y ventilación industrial</u>				
2	24/10/19	Bryan Quinch Ricardo Fierro	Mario Patiño	mpatino@espol.edu.ec
Descripción del Contacto: <u>Profesor Fimcp</u>				
Comentarios: <u>Se habló sobre un método para medir la concentración de material particulado en el taller</u>				
3	21/11/19	Bryan Quinch Ricardo Fierro	Edgar Barroqueta	ssgghe@logardecristo.org.ec
Descripción del Contacto: <u>Coordinador de Seguridad</u>				
Comentarios: <u>Nos invitado un recorrido por la planta y nos explico sobre los requerimientos</u>				
4	22/12/19	Bryan Quinch Ricardo Fierro	Erick Berroz	ef.berroz@duygps.com.ec
Descripción del Contacto: <u>Técnico Especialista Ingeniería y Mantenimiento</u>				
Comentarios: <u>Se habló sobre la gestión de proyecto para implementar un extractor de polvo y humos de soldadura en el taller de mantenimiento de cilindros</u>				
5	21/1/2019	Bryan Quinch Ricardo Fierro	Javier Simbaña	jsimban@skc.com.ec
Descripción del Contacto: <u>Jefe dep. Proyectos - SKC Ingeniería</u>				
Comentarios: <u>Nos recomendo acerca del diseño del echeá y la selección correcta de la ductilería</u>				

Guayaquil, 18 de diciembre de 2019

M. Sc.

**Livingston Castro B.**

Coordinador de la carrera de Mecánica

Presente,

De nuestras consideraciones:

Nosotros, **Ricardo Fierro Peralta** con matrícula No. **201313711** y **Bryan Quinde Cadena** con matrícula No. **201310872**, estudiantes de la carrera de Mecánica, actualmente estamos cursando materia integradora y con la ayuda de nuestro tutor, Jonathan León, realizamos nuestro proyecto el cual consiste en el "Diseño de un sistema de extracción de material particulado para el área de producción".

Con el fin de determinar el estado actual del área de producción necesitamos llevar a cabo unas mediciones de concentración de material particulado PM10 y PM2.5 en dicha área en cuestión.

Por ello solicitamos encarecidamente, el préstamo del siguiente equipo:

<b>Equipo</b>	Micro Environmental Monitor
<b>Marca</b>	MSP Corporation
<b>Modelo</b>	400
<b>No. Serie</b>	MEM-061

Desde el día **20 de diciembre de 2019**, hasta el **24 de enero de 2020**.

El equipo está a cargo del Ing. Mario Patiño y nos comprometemos con él y con la facultad FIMCP en cuidar el equipo durante el tiempo prestado, así como entregarlo en las mismas condiciones en las que se nos presta.


Agradecemos de antemano su ayuda.

Atentamente,

**ESTUDIANTE DE MATERIA  
INTEGRADORA**

  
Ricardo Andrés Fierro Peralta  
Matrícula No. 201313711  
Telf. 0990735185  
[rafierro@espol.edu.ec](mailto:rafierro@espol.edu.ec)


**TUTOR DE PROYECTO**

  
M. Sc. Jonathan Roberto León  
Torres


**PROFESOR - FIMCP**

  
M. Sc. Mario Rodrigo Patiño Aroca

**ESTUDIANTE DE MATERIA  
INTEGRADORA**

  
Bryan Alfonso Quinde Cadena  
Matrícula No. 201310872  
Telf. 0939229214  
[baquinde@espol.edu.ec](mailto:baquinde@espol.edu.ec)

**PROFESOR DE LA MATERIA  
INTEGRADORA**

  
M. Sc. Jorge Medardo Marcial  
Hernández

**AYUDANTE  
ADMINISTRATIVO - FIMCP**  
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA  
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

  
Sr. Humberto Torres  
ASISTENTE DE ACTIVOS FUJOS

MATERIA INTEGRADORA DE INGENIERÍA MECÁNICA MECG1026

2019 – Término II

REGISTRO DE ENTRADA Y SALIDA DEL EQUIPO

Paralelo: 1

Profesor Coordinador: M. Sc. Jorge Medardo Marcial Hernández

Proyecto: Diseño de un sistema de extracción de material particulado

Equipo: Micro Environmental Monitor Model 400, No. Serie: MEM-061, Marca: MSP Corporation.

NOMBRES	CARGO	SALIDA DEL EQUIPO	DEVOLUCIÓN DEL EQUIPO
M. Sc. Jorge Medardo Marcial Hernández	Profesor de Materia Integradora	 6-01-2020	 20-01-2020
M. Sc. Jonathan Roberto León Torre	Tutor de proyecto		
M. Sc. Mario Rodrigo Patiño Aroca	Profesor FIMCP	 07-01-2020	 20-01-2020
Sr. Humberto Jiménez Figuero	Ayudante Administrativo FIMCP	REVISADO FIMCP - ESPOL - 6/ENE 2020	FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
Ricardo Andrés Fierro Peralta	Estudiante Materia Integradora	FIRMA 	 Humberto Jiménez F. EXISTENTE DE ACTIVOS FIJOS
Bryan Alfonso Quinde Cadena	Estudiante Materia Integradora		

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN

Humberto Jiménez F.  
EXISTENTE DE ACTIVOS FIJOS

Guayaquil, 18/12/2019

Ing. Daniel Falquez

Analista de Laboratorio

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT)

En su despacho:

Yo, Jonathan León, profesor de materia integradora de los estudiantes Ricardo Fierro y Bryan Quinde pertenecientes a la carrera Mecánica de la facultad FIMCP, solicito comedidamente a usted hacer uso del laboratorio de Geotecnia y construcción; para realizar los siguientes ensayos para el proyecto de Materia Integradora: Diseño de un sistema de extracción de material particulado en el área de producción, en muestras de polvo y viruta de madera provenientes de Área de producción

Ensayo	Cantidad
Caracterización del tamaño de partícula del polvo y viruta de madera.	5
Desecación de filtros previo al muestreo	10
Pesaje de filtros previo al muestreo	10
Desecación de filtros con muestra	10
Pesaje de filtros con muestras	10

Gracias por su atención,



Saludos cordiales,

Jonathan León

Tiempo asignado por el Analista de Laboratorio (días)

# **INFORME DEL ESTADO ACTUAL DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN**

El presente informe contempla los puntos de interés relacionados al control de la concentración de material particulado suspendido en el ambiente y que medidas no se están tomando para mantener un espacio seguro de trabajo que cumpla con la normativa sugerida para trabajos con generación de polvos de madera.

## **Niveles actuales de concentración de material particulado**

El muestreo y análisis de laboratorio para determinar la concentración de material particulado realizado, reflejo que la concentración actual en el área en cuestión es de 12 mg/m<sup>3</sup> para partículas con un diámetro de 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>) y de 8 mg/m<sup>3</sup> para partículas con un diámetro de 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>).

Los resultados se compararon con la normativa OSHA que indica los niveles permisibles de concentración de material particulado en talleres de madera, dicha normativa establece que la máxima concentración de material particulado debe ser 5 mg/m<sup>3</sup>. La Figura G.1 indica las ubicaciones de los muestreos mientras que la Tabla G.1 muestra los resultados de las mediciones.

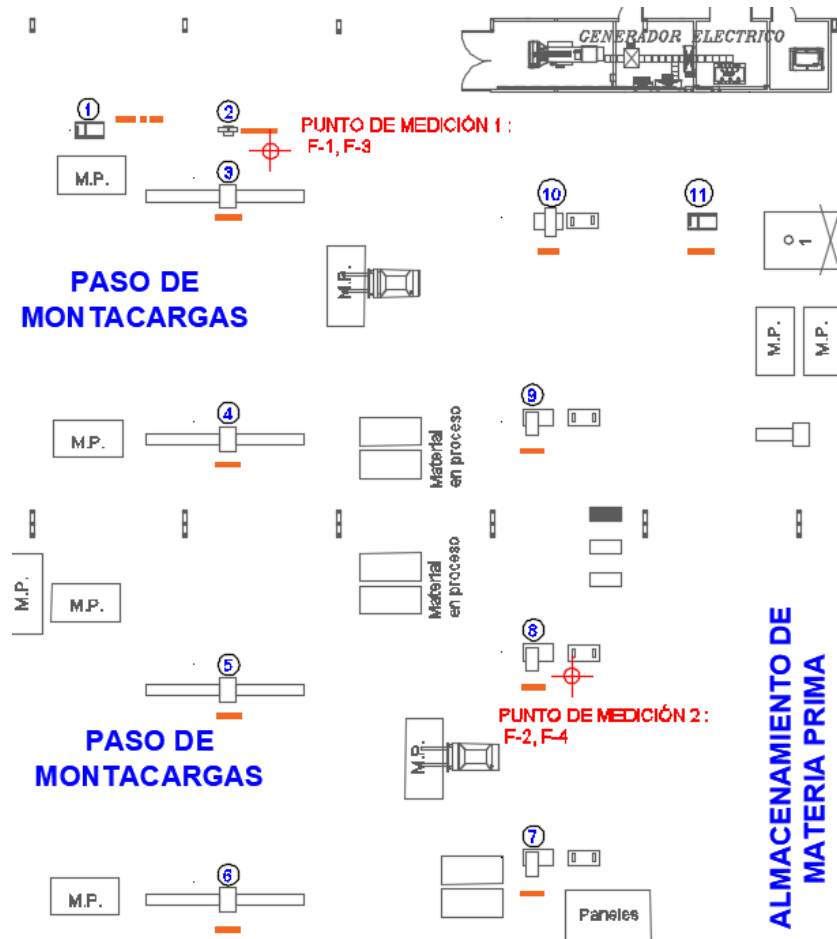


Figura G.1: Ubicaciones de muestreo  
[Elaboración propia]

Tabla G.1: Resultados de la medición de concentración de material particulado en el taller.

[Elaboración propia].

Tamaño partícula	Filtro	Masa Filtro		Diferencia de masa		Caudal de muestreo		Tiempo de muestreo h	Concentración MP por filtro mg/m3	Concentración MP promedio mg/m3
		Antes	Después			lt/min	m3/h			
		g	g	g	mg					
PM10	F-1	0.06	0.09	0.03	30	10	0.6	8	6	8
	F-2	0.06	0.11	0.05	50	10	0.6	8	10	
PM2.5	F-3	0.06	0.11	0.05	45	10	0.6	8	9	12
	F-4	0.06	0.13	0.07	70	10	0.6	8	15	

## Gestión de desechos y recolección de polvo y viruta de madera

Actualmente la gestión de desechos es realizada durante las jornadas de trabajo por el mismo personal que opera las máquinas al finalizar la operación del equipo por parte del operador a cargo, este junto a un ayudante a disposición, realizan las labores de recolección de su estación de trabajo en donde se junta la viruta y se recoge el polvo mediante palas y escobas, este desecho se deposita en contenedores, cuando el contenedor está lleno se procede a moverlo con un montacargas y se lo vacía en un tanque fuera de la zona de producción.

Los empleados que realizan esta labor están sujetos al uso de equipos de protección personal (EPP) que, si bien protegen parcialmente al individuo, no son una solución que pueda adoptarse para realizar este tipo de actividades a largo plazo. No solo es un gasto adicional recurrente en EPP, sino que, además la exposición a altas concentraciones de polvo son un factor de riesgo, aun si el individuo este equipado con EPP.

### Tiempo no productivo por limpieza

Durante una jornada de trabajo los operadores realizan una parada de 10 minutos cada 30 minutos para limpiar las máquinas dando como resultado un tiempo no productivo mostrado en la Tabla G.2.

**Tabla G.2: Tiempo no productivo por limpieza de máquinas al día.**

[Elaboración propia]

Frecuencia de parada al día	Número de paradas durante 8 horas	Tiempo de limpieza por máquina	Tiempo no productivo por limpieza	
			min	h
30	16	10	160	3

### Producción de material particulado por máquina

Durante una jornada laboral el taller produce 2836 Kg de polvo y viruta de madera que ocupa 29.84 m<sup>3</sup>.



Tabla G.3: Producción de material particulado por máquina.

[Elaboración propia]

Máquina	Período muestreo	Número de fundas recolectadas	Masa promedio por funda	Masa total del muestreo	Flujo máximo de polvo y viruta	Densidad aparente de muestra	Flujo volumétrico de polvo y viruta	Masa del polvo y viruta en 8 h	Volumen de polvo y viruta en 8 h
	h								
Sierra de mesa	8	5	35	175	21.88	123	0.178	175	1.42
Canteadora	8	5	20	100	12.50	55.5	0.225	100	1.80
Péndulo	7	2	30	60	8.60	320	0.027	69	0.22
Péndulo	7	2	30	60	8.60	320	0.027	69	0.22
Péndulo	7	2	30	60	8.60	320	0.027	69	0.22
Péndulo	7	2	30	60	8.60	320	0.027	69	0.22
Múltiple	3	8	28	227	75.76	99	0.765	606	6.12
Múltiple	3	8	28	227	75.76	99	0.765	606	6.12
Múltiple	3	8	28	227	75.76	99	0.765	606	6.12
Cepillo	6	21	14	298	49.72	55.5	0.896	398	7.17
Pulidora	8	2	35	70	8.75	320	0.027	70	0.22
								<b>2836</b>	<b>29.84</b>

### Frecuencia de enfermedades en los operadores

Los casos de enfermedades respiratorias presentados en el año 2019 se muestran en la Tabla G.4.

**Tabla G.4: Registro de enfermedades durante el año 2019. [Elaboración propia].**

<b>Semestre</b>	<b>Casos de enfermedades respiratorias</b>
1	15
2	12
<b>Total</b>	27
<b>Total Personas del área operativa</b>	52
<b>%Enfermos</b>	52%

### **Conclusión del caso**

Es necesario reducir los niveles de concentración de material particulado a niveles recomendados para evitar riesgo a la salud de los empleados en esta área, las altas concentraciones de polvo también incurren en un riesgo a las zonas aledañas a la planta, ya que en estas se encuentran áreas urbanas que pueden estar expuestas a niveles altos de partículas PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> suspendidas en el ambiente.

### **Responsables del informe**

El presente informe se llevó a cabo por los estudiantes Bryan Alfonso Quinde Cadena y Ricardo Andrés Fierro Peralta, de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por motivo de la realización de Materia Integradora.

# INFORME DEL ESTADO FUTURO DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN

El presente informe contempla los puntos de interés relacionados al control de la concentración de material particulado suspendido en el ambiente una vez que se haya implementado el proyecto en el área de producción.

## Concentración de material particulado

Con el sistema implementado, la concentración de material particulado en el ambiente se reducirá de 12 mg/m<sup>3</sup> a 1.1 mg/m<sup>3</sup> para material de tamaño PM<sub>2.5</sub> y de 8 mg/m<sup>3</sup> a 0.7 mg/m<sup>3</sup> para material de tamaño PM<sub>10</sub>, dichos valores son menores a 5 mg/m<sup>3</sup> y se cumple con el nivel permisible estipulado por la OSHA.

## Tiempo no productivo por limpieza con el sistema implementado

Con la implementación del sistema se logrará reducir los tiempos no productivos debido a la limpieza de las máquinas.

Tabla G.5: Tiempo no productivo por limpieza de máquinas.

[Elaboración propia].

Volumen total	Volumen tolva	Número paradas al día	Tiempo descarga tolva		Tiempo de operación de limpieza	Tiempo no productivo por limpieza	
m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		seg	min	min	min	h
29.84	6.5	5	3	0.05	10	50	0.8

## Conclusión del caso

El sistema de extracción de material particulado representará una mejoría en la calidad del aire del taller obteniendo una reducción del 91% de concentración de material particulado, por otro lado, la implementación del sistema representará un aumento de productividad ya que se reduce en un 73% el tiempo no productivo debido a la limpieza de las máquinas.

## Responsables del informe

El presente informe se llevó a cabo por los estudiantes Bryan Alfonso Quinde Cadena y Ricardo Andrés Fierro Peralta, de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por motivo de la realización de Materia Integradora.

## **PLAN DE MANEJO DE DESECHOS**

Durante el día se realizarán 5 paradas para la recolección del material particulado que se almacena en la tolva, las paradas se deben hacer cada 1:30 horas, y el procedimiento a seguir se detalla a continuación:

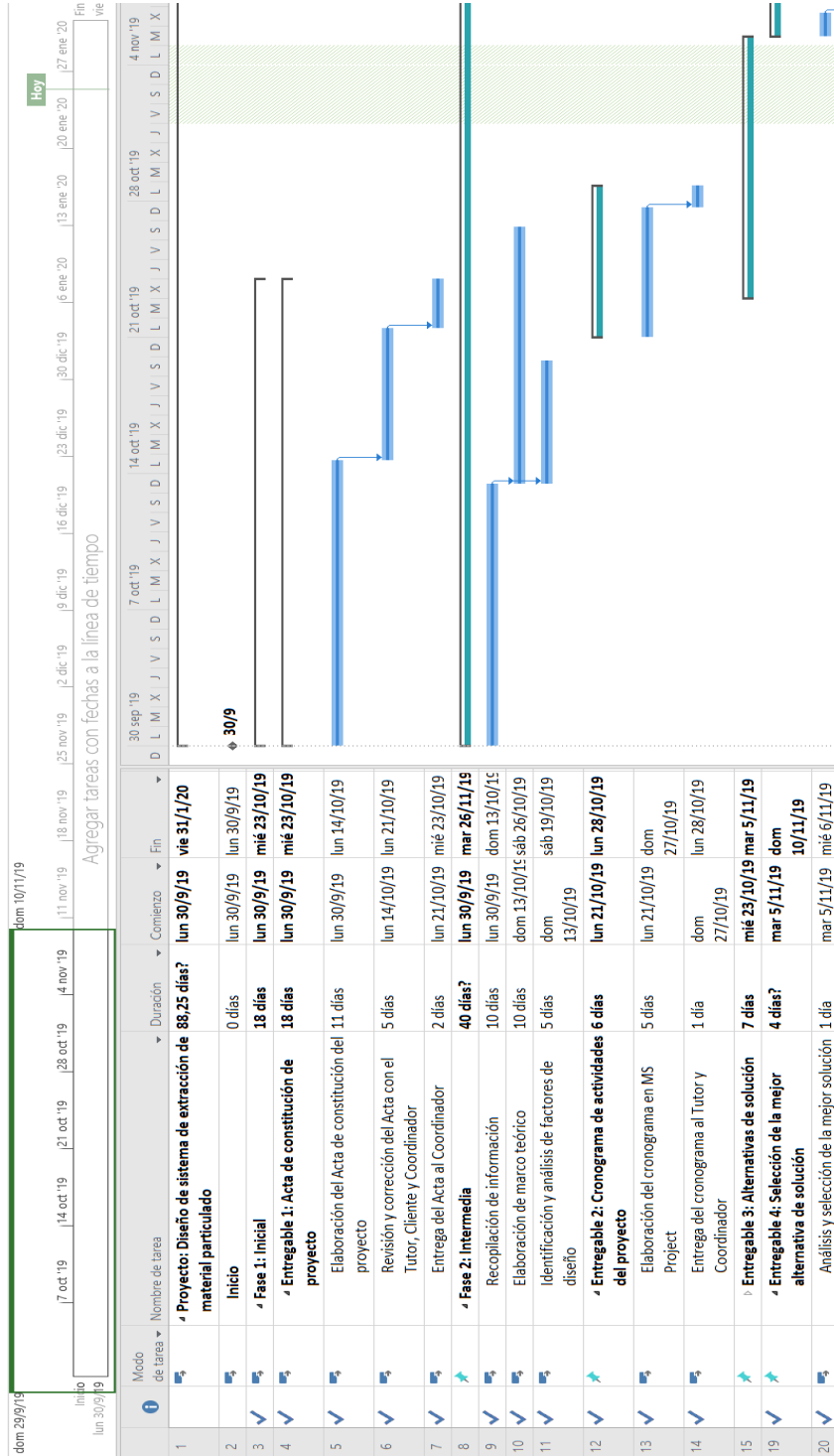
1. Usar el EPP adecuado (Casco, guantes, gafas de seguridad).
2. Apagar el ventilador y esperar a que se detenga totalmente.
3. Asegurar la zona ante cualquier posible fuente de incendio.
4. Colocar una carretilla debajo de la tolva.
5. Abrir lentamente la compuerta de la tolva para que caiga el polvo y viruta de madera, ayudarse de la mano o de una pala para que no queden residuos dentro de la tolva.
6. Cerrar compuerta de la tolva y asegurarla.
7. Almacenar el desecho en el contenedor.
8. Una vez lleno el contenedor, vaciarlo en el tanque fuera del área de producción.

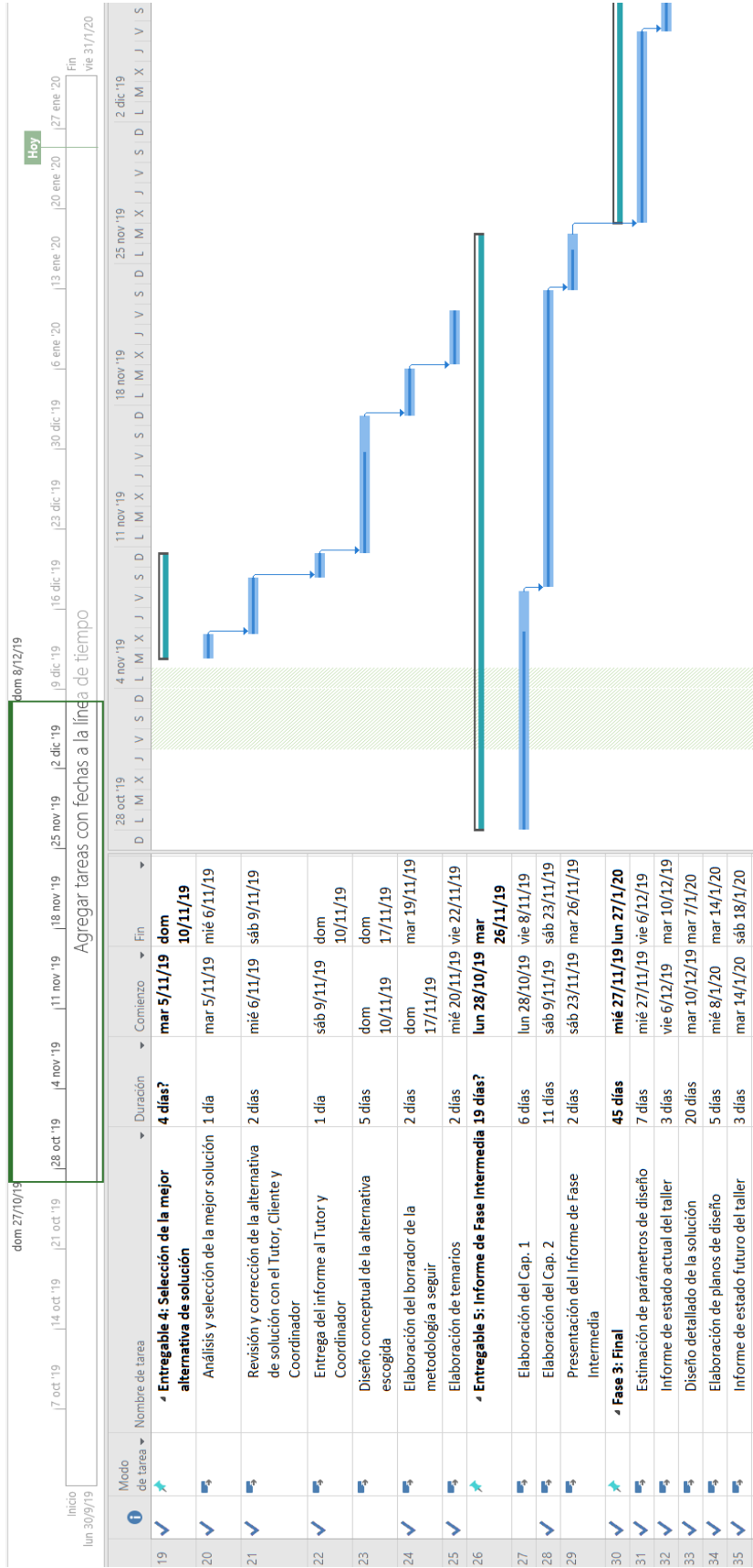
Dado a que la producción de polvo y viruta de madera en el taller es muy elevada, se podría reutilizar este desecho como materia prima para otros productos como para la creación de ladrillo a base de viruta de madera, materia prima para tableros de MDF y aglomerados, relleno de sacos de boxeo y hasta para controlar los malos olores en las casas de mascotas, es decir, se puede sacar provecho de este desecho, y suponiendo que se vendiera el 30% de las 737 ton que se genera al por año a un precio de \$5 el quintal se podría tener un ingreso de \$11,060 anual.

### **Responsables del informe**

El presente informe se llevó a cabo por los estudiantes Bryan Alfonso Quinde Cadena y Ricardo Andrés Fierro Peralta, de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por motivo de la realización de Materia Integradora.

# APÉNDICE H: CRONOGRAMA DE PROYECTO





Inicio: lun 30/9/19

7 oct '19 14 oct '19 21 oct '19 28 oct '19 4 nov '19 11 nov '19 18 nov '19 25 nov '19 2 dic '19 9 dic '19 16 dic '19 23 dic '19 30 dic '19 6 ene '20 13 ene '20 20 ene '20 27 ene '20

Fin: vie 31/7/20

Hoy: jue 16/1/20

Agregar tareas con fechas a la línea de tiempo

	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
28	✓	Elaboración del Cap. 2	11 días	sáb 9/11/19	sáb 23/11/19
29	✓	Presentación del Informe de Fase Intermedia	2 días	sáb 23/11/19	mar 26/11/19
30	✓	↙ Fase 3: Final	45 días	mié 27/11/19	lun 27/1/20
31	✓	Estimación de parámetros de diseño	7 días	mié 27/11/19	vie 6/12/19
32	✓	Informe de estado actual del taller	3 días	vie 6/12/19	mar 10/12/19
33	✓	Diseño detallado de la solución	20 días	mar 10/12/19	mar 7/1/20
34	✓	Elaboración de planos de diseño	5 días	mié 8/1/20	mar 14/1/20
35	✓	Informe de estado futuro del taller	3 días	mar 14/1/20	sáb 18/1/20
36	✓	Plan de manejo de desechos	2 días	sáb 18/1/20	mar 21/1/20
37	✓	Revisión y corrección con el Tutor, Cliente y Coordinador	3 días	mar 21/1/20	sáb 25/1/20
38	✓	↙ Entregable 6: Informe de Fase Final	35 días	mar 10/12/19	lun 27/1/20
39	✓	Elaboración del Cap. 3	14 días	mar 10/12/19	dom 29/12/19
40	✓	Elaboración del Cap. 4	14 días	dom 29/12/19	sáb 18/1/20
41	✓	Revisión y corrección con el Tutor, Cliente y Coordinador	5 días	sáb 18/1/20	vie 24/1/20
42	✓	Presentación del Informe de Fase Final	2 días	sáb 25/1/20	lun 27/1/20
43	✓	Presentación del proyecto completo	3 días	lun 27/1/20	vie 31/1/20
44	✓	Fin	0 días	vie 31/1/20	vie 31/1/20

