

DISEÑO DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN DE POLVO PARA EL ÁREA DE SECAMIENTO EN EL MOLINO PROCECAS

JEFERSON ESTIVEN URUEÑA SÁNCHEZ

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,
MECATRONICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, diciembre 01 de 2022

DISEÑO DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO PARA EL ÁREA DE SECAMIENTO EN EL MOLINO PROCECAS

Jeferson Estiven Urueña Sánchez

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director

JUAN CARLOS SERRANO RICO
Ph. D Ingeniero Mecánico
jcserrano@unipamplona.edu.co

Codirector

YOLMAN HERNÁNDEZ TORRES
Ingeniero Mecánico
yolman64@hotmail.com

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,
MECATRONICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

Pamplona, diciembre 01 de 2022

Dedicatoria

A mi padre Marco Antonio Urueña y a mi madre Leonor Amparo Sánchez por brindarme la oportunidad de seguir avanzando en las áreas del saber, por apoyarme en una etapa muy importante en mi vida, por siempre creer en mí para alcanzar mis metas y nunca rendirme.

A mi amada Kelly Vizcaíno, quien siempre ha estado desde el comienzo de esta etapa formativa como profesional con amor paciencia y consejos, por creer en mí y apoyarme a siempre darme todo y crecer juntos como persona y como profesional.

A mi hermano Jean Marco, por siempre creer en mí, por la admiración que siente por mí dándome fuerzas para dar un buen ejemplo como su hermano mayor y el también siga los mismos pasos de volverse un profesional.

A todos mis familiares, amigos y compañeros que estuvieron presentes a lo largo de mi etapa formativa, los cuales ayudaron a tener experiencias donde se crece como persona y profesional, a mis compañeros de carrera y de lucha, los cuales siempre estaban dispuestos a dar ayuda y ser muy compañeritas.

A mis maestros que formaron parte de mi vida estudiantil, los cuales compartían sus conocimientos con vocación y ayudaron a sentar las bases de ser una persona profesional a los profesores de ingeniería mecánica de la Universidad de Pamplona.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por permitirme cumplir una de las etapas más bonitas de la vida y permitirme haber crecido con una familia maravillosa, quienes me apoyaron en todo momento.

por permitirme vivir con una familia maravillosa, que con su apoyo estuvieron día a día a mi lado alentándome para lograr lo que hoy soy. A mis maestros que realizar el esfuerzo por transmitir los conocimientos para poder culminar la carrera de Ingeniería Mecánica

A mis padres, Marco Antonio y Leonor Amparo, mi hermano Jean Marco y mi amada Kelly Vizcaíno por ser los pilares fundamentales en el proceso de mi formación como profesional, los que siempre me dieron apoyo y confiaron en mí, en todo momentos y gracias por todo.

Agradezco a todas las personas que conocí en el transcurso de mi formación como profesional, mis compañeros de carrera los cuales me brindaron su tiempo y apoyo y ser unos excelentes compañeros, a mis docentes de la Universidad de Pamplona en especial a los del programa de ingeniería mecánica por su exigencia y vocación, el cual me ayudo a formar el carácter como profesional y sentar las bases del saber en ingeniería.

Agradezco a la empresa PROCECA por permitirme desarrollar mis prácticas de ingeniería, donde trabajan personas muy amables y dedicadas en su trabajo, a los mecánicos de Arnubio Hernández y Henryr Cala por permitir un intercambio mutuo de conocimientos desde la teoría a la práctica. Un agradecimiento especial a Ingeniero mecánico Yolman Hernández por brindarme su tiempo y sus invaluable conocimientos de los cuales aprendí muchísimo y expandir mi visión como profesional.

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 Objetivo general	19
1.3.2 Objetivo específico	19
2. ESTADO ACTUAL	20
2.1 Antecedentes.....	20
2.2 Descripción de la empresa	24
2.2.1 Misión.....	24
2.2.2 Visión	25
2.3 Descripción de áreas de trabajo	25
2.3.1 Recepción	26
2.3.2 Secado.....	26
2.3.3 Trillado	26
2.3.4 Empaquetado.....	27
2.3.5 Despachos	27
2.4 Estudios de calidad del aire	27
2.5 Bases teóricas	28
2.6 Ecuación de Bernoulli	28
2.6.1 Presión Estática	29

2.6.2	Presión Dinámica	29
2.7	Propiedades de los fluidos	29
2.7.1	Densidad	29
2.7.2	Peso Especifico	29
2.7.3	Viscosidad	29
2.7.4	Régimen turbulento	30
2.8	Pérdidas en tuberías	30
2.8.1	Pérdidas Mayores	31
2.8.2	Perdidas Menores	33
2.8.3	Codos	33
2.8.4	Entrada de Ramales (pantalones)	34
2.8.5	Reducciones	35
2.8.6	Campanas de Captación	35
2.8.7	Red de tuberías	36
2.9	Elementos que componen un sistema de succión de polvo	36
2.9.1	Separador ciclónico	36
2.9.2	Tipos de ventiladores	37
2.9.3	Filtro de mangas	38
2.9.4	Campanas de captación	39
2.9.5	Válvulas de aire	39
2.9.6	Compuertas de inspección	40
3.	METODOLOGÍA PROPUESTA	41

3.1	Fase 1 análisis y diagnóstico de las áreas con mayor producción de polvo.	41
3.2	Fase 2 cálculo de diámetros, longitud, caudal y pérdidas de presión en la tubería.	41
3.3	Fase 3 selección del ventilador.....	41
3.4	Fase 4 trazos en el diseño de tuberías, cálculo de material.	42
3.5	Fase 5 análisis de costos.....	42
4.	DISEÑO DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVOS	43
4.1	Velocidades de captación en las campanas	43
4.2	Velocidades recomendadas para el diseño de conductos	43
4.3	Análisis y diagnósticos de área con mayor producción de polvo	45
4.4	Toma de mediciones.....	50
4.5	Determinación de caudal necesario en la zona afectada	51
4.6	Distribución de caudal en puntos de captación.....	52
4.7	Diámetro de tubería en puntos de captación	54
4.8	Diseño de campanas de captación.....	56
4.9	Diseño de sistema de ductos.....	58
4.10	Perdidas de presión generadas a través de los ductos	60
4.11	Cálculo de dimensiones de separador ciclónico.....	72
4.11.1	Cálculo de pérdidas de presión en separador ciclónico	76
4.11.2	análisis de diseño de separador ciclónico.....	76
4.12	Simulación del separador ciclónico	81
4.13	Simulación de presión estática en separador ciclónico	86
4.14	Selección del ventilador.....	90

4.14.1	Modelo de ventilador.....	91
4.15	Diseño de filtro de mangas.....	94
4.15.1	Velocidad de filtración.....	94
4.15.2	Perdidas de presión de filtro de mangas.....	97
4.15.3	Determinación del tamaño del tanque	98
4.15.4	Simulación de análisis estructural.....	101
4.15.5	Diseño de estructura de contención.....	106
4.15.6	Simulación de estructura de contención de filtro de mangas	108
4.16	Modelo de sistema de succión	112
4.17	Diseño de codos con diferentes ángulos de inclinación	113
4.18	Diseño de trazos para la fabricación de entradas a ramales	117
4.19	Diseño de trazos de campanas de captación	121
5.	ANÁLISIS DE COSTOS	126
5.1	Sistema de ductos	126
5.1.1	Ductos	126
5.1.2	Codos.....	128
5.1.3	Entrada a ramales.....	129
5.1.4	Campanas de captación.....	129
5.1.5	Separador ciclónico.....	131
5.1.6	Ventilador	132
5.1.7	Filtro de mangas.....	132
5.1.8	Mano de obra	133
5.1.9	Inversión total	133

5.2	Costo de operación del ventilador	134
5.3	Costos anuales de filtro de mangas.....	135
5.3.1	Mano de obra de operación	135
5.3.2	Costos de mantenimiento.....	135
5.3.3	Costo de aire comprimido	136
5.4	Análisis de costos anuales.....	136
6.	Montaje del sistema de succión	138
6.1	Separador ciclonico	138
6.2	Codos	139
6.3	Campanas	141
6.4	Instalacion de separador ciclonico, ventilador y filtro de mangas	142
6.5	Puntos de succión	143
7.	CONCLUSIONES.....	146
8.	BIBLIOGRAFÍA	147
9.	ANEXOS	151
9.1	ANEXO 1	151
9.2	ANEXO 2	181
9.3	ANEXO 3	187
9.4	ANEXO 4	191
9.5	ANEXO 5	193
9.6	ANEXO 6	195
9.7	ANEXO 7	201
9.8	ANEXO 8	210

9.9	ANEXO 9	214
9.10	ANEXO 10	225
9.11	ANEXO 11	248

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Punto de cortes del ICA Fuente: Resolución 2254 de 2017. MADS.	27
Tabla 2	velocidades de captación en campana fuente:[33]	43
Tabla 3	Velocidades recomendadas para diseño de conducto FUENTE : [38] ...	44
Tabla 4	Codificación de equipos	46
Tabla 5	Puntos críticos de generación de polvo	47
Tabla 6	Caudal mínimo en puntos de captación	53
Tabla 7	Campanas de captación	57
Tabla 8	Accesorios en cada tramo del sistema de succión	59
Tabla 9	Cálculo de presión estática total	61
Tabla 10	Presión total en puntos 1-2-3-4-5.....	63
Tabla 11	Presión total en puntos 6-7-8-9.....	64
Tabla 12	Presión total en puntos 10-11-12-13-14.....	65
Tabla 13	Presión total en puntos 15-16	66
Tabla 14	Sistema de succión con pérdidas de presión sin equilibrio	67
Tabla 15	Perdidas de presión en los puntos de captación.....	68
Tabla 16	Sistema de succión con pérdidas de presión equilibrado	70
Tabla 17	Perdidas de presión en puntos de captación equilibrados	71

Tabla 18 Comparación de sistemas.....	71
Tabla 19 Dimensiones Petherson Whitby	73
Tabla 20 Medidas del separador ciclónico	74
Tabla 21 Peso a tener en cuenta en la estructura del separador ciclónico	76
Tabla 22 Caudal del ventilador	90
Tabla 23 Presión del ventilador.....	91
Tabla 24 Parámetros para el tipo de limpieza Fuente: (Pilamunga Rigchag, 2019)	94
Tabla 25 Peso de las secciones del filtro de mangas	99
Tabla 26 Área de sistema de ductos.....	127
Tabla 27 Área de los codos según número de cascos	128
Tabla 28 Área de entrada a ramales.....	129
Tabla 29 Área de campanas de captación.....	130
Tabla 30 Área de cajones de recubrimiento	130
Tabla 31 Costo de sistema de ductos.....	131
Tabla 32 Costo de separador ciclónico	132
Tabla 33 Costos de ventilador	132
Tabla 34 Costo de filtro de mangas	132
Tabla 35 Costo de sistema de tuberías de aire comprimido	133
Tabla 36 Costos de mano de obra.....	133
Tabla 37 Inversión total.....	134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo de procesos	25
Figura 2 Factor de corrección [31]	32
Figura 3 Coeficientes de pérdida en codos fuente [32].....	34
Figura 4 Coeficiente de perdida en entrada a ramales fuente: [32]	34
Figura 5 Perdidas en reducciones Fuente:[32]	35
Figura 6 Factor de perdida en campanas de captación fuente:[31]	36
Figura 7 Separador ciclónico de entrada tangencial Fuente:[33].....	37
Figura 8 Tipos de ventiladores Fuente:[31].....	37
Figura 9 Zona de trabajo dependiendo del tipo de álabe	38
Figura 10 Filtro de mangas Fuente:[35]	39
Figura 11 Compuerta mariposa Fuente:[37]	40
Figura 12 Área con mayor producción de polvo.....	45
Figura 13 Modelo 3D de las instalaciones en la fase final de secado	50
Figura 14 Volumen con mayor afectación de polvo	51
Figura 15 polvos generados por elevador de cangilones.....	54
Figura 16 Campana 1	57
Figura 17 Campana 2	57
Figura 18 Campana 3	57
Figura 19 Campana 4	57
Figura 20 Esquema de sistema de ductos	58
Figura 21 Dimensiones separador ciclónico Fuente:[39]	73
Figura 22 Modelo 3D de separador ciclónico.....	75

Figura 23 Modelo 3D de soportes de separador ciclónico	82
Figura 24 Carga distribuida.....	82
Figura 25 Selección del tipo materiales	83
Figura 26 tipos de malla.....	83
Figura 27 Detalles de mallado	84
Figura 28 Desplazamiento de pandeo en los soportes del ciclón	85
Figura 29 Factor de seguridad en los soportes del ciclón	85
Figura 30 Sujeciones y presión estática	86
Figura 31 Selección de material de separador ciclónico	87
Figura 32 Creación de malla separador ciclónico	88
Figura 33 Detalles de malla	88
Figura 34 Esfuerzo mediante la presión de trabajo.....	89
Figura 35 Desplazamiento mediante la presión	89
Figura 36 Modelo de ventilador marca SODECA.....	91
Figura 37 Curva característica del ventilador Fuente: SODECA.....	92
Figura 38 características máximas del modelo de ventilador	93
Figura 39 Dimensiones de ventilador SODECA.....	93
Figura 40 Configuración de mangas	96
Figura 41 Filtro de mangas en secciones	99
Figura 42 selección de material de estructura	101
Figura 43 carga distribuida a través de masa distribuida.....	102
Figura 44 sujeción y punto de gravedad	103
Figura 45 Malla	103

Figura 46 Elementos de malla	104
Figura 47 Esfuerzo soportados en el filtro de mangas.....	105
Figura 48 Desplazamiento generados en la estructura.....	105
Figura 49 Factor de seguridad generado en estructura de filtro de mangas.....	106
Figura 50 Filtro de mangas a la intemperie.....	107
Figura 51 Dobles de lámina	108
Figura 52 Selección de material para estructura de contención de filtro de mangas	108
Figura 53 Sujeciones y presión estática	109
Figura 54 Configuración de malla para estructura de contención	109
Figura 55 Detalles de malla en estructura de contención	110
Figura 56 Esfuerzo generado mediante la presión en cajón de contención.....	111
Figura 57 Desplazamiento debido presión ejercida	111
Figura 58 Vista superior de sistema de extracción de polvo	112
Figura 59 Modelo 3D	113
Figura 60 Secciones de codos Fuente Autor	114
Figura 61 Codo con grado de inclinación fijo Fuente Autor	114
Figura 62 Codo con sus diferentes radios Fuente Autor	115
Figura 63 Secciones de codo Fuente Autor	116
Figura 64 Denotación de unión con diferentes diámetros y Ángulo Fuente Autor	118
Figura 65 Entrada a Ramales	119
Figura 66 Trazado de reducción completo Fuente Autor	119
Figura 67 Trazado de reducción media cara Fuente Autor	120

Figura 68 Sección de corte boca de pescado	121
Figura 69 Modelado 3D campana.....	122
Figura 70 Trazado completo	123
Figura 71 Trazado de media cara	124
Figura 72 Campana en fabricación	124
Figura 73 Campana instalada.....	125
Figura 74 Costos anuales de operación	137
Figura 75 Comparación de costos.	137
Figura 76 Mantenimiento a separador ciclónico	139
Figura 77 Fabricación de codos.....	140
Figura 78 Fabricación de campanas de captación.....	142
Figura 79 Instalación de separador ciclónico, ventilador y filtro de mangas	143
Figura 80 Instalación de puntos de succión.....	145

1. INTRODUCCIÓN

En las industrias de procesamiento de alimentos como en la de procesamiento de granos y cereales donde se presenta generación de material particulado proveniente de dichos alimentos, esto se debe al movimiento que se realiza de transporte entre un proceso y otro. La generación de polvo se ve reflejado mayormente en bandas transportadoras y elevadores de cangilones. Es importante el control de polvo que se generan mediante el transporte del grano a través de los diferentes procesos hasta llegar al producto final.

Los sistemas de extracción de material particulado (polvo) son uno de los métodos menos costosos y más efectivos. En este proyecto se centra en diseñar un sistema de extracción de material particulado en el área de secamiento en un molino que procesa arroz. La generación de material particulado en el ambiente, genera afectaciones de salud en los trabajadores, incremento en costos de mantenimiento de los equipos, problemas legales y ambientales. Se aborda la recopilación de información para el diseño de sistemas de extracción de polvo como los parámetros óptimos de diseño, la selección de puntos críticos en donde se genera mayor material particulado, toma de mediciones, realización de CAD donde se refleja de manera visual el diseño, el cálculo de pérdidas de presión en la red de ductos, caudales, selección de ventilador, diseño de trazos para la creación de la tubería así mismo los diferentes accesorios como codos, entradas de ramales (pantalones) , válvulas, compuertas de inspección, cálculo de material y análisis de costos.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El arroz a nivel mundial se destaca por ser el tercer producto agrícola más producido, siendo esencial para la nutrición humana ya que aporta el 21 % de la ingesta calórica en todo el mundo [1], [2]. Se identifica como cultivo básico siendo una fuente importante de carbohidratos [3].

a nivel mundial, Colombia se encuentra posicionada como el tercer productor de arroz con un total de 10,4 % del área cultivada del país, a su vez se encuentra ubicada en el puesto 26 por superficie cosechada y en el puesto 34 por rendimiento de arroz en cáscara o arroz paddy. Existe la necesidad de incrementar la productividad y competitividad del arroz y para esto es fundamental conocer los factores que reducen los rendimientos y aumentan los costos [4].

En Aguazul – Casanare, conocida como la capital arroceras de Colombia, se encuentra ubicada la empresa SYH VESGA SAS ZOMAC dedicada a la comercialización y venta de arroz, mediante la industrialización y procesamiento del cereal con altos estándares de calidad. Se tienen varias áreas de producción, secamiento, trilla y empaquetado. En el área de secamiento presenta una alta concentración de material particulado, generado por el transporte del grano arroz a través de proceso a otro, la mayor generación de polvo se ve reflejado en bandas transportadoras y elevador de cangilones.

En el proceso de secado se implementan torres de secado, estas se alimentan por un flujo de gases calientes, proporcionado por un horno que opera con biomasa, en este caso el combustible utilizado es cascarilla de arroz.

En espacios abiertos el material particulado entra en contacto con la atmósfera ocasionando un impacto ambiental, el contacto de dicho material con los trabajadores puede ocasionar afecciones de salud, como alergias en la piel, problemas respiratorios, asimismo genera mayores costos de mantenimientos en los equipos.

Con el fin de mitigar la producción de polvo en el área de secamiento, se requiere el diseño de un sistema de extracción de polvo compuesto por separador ciclónico, ventilador, filtro de mangas, campanas de captación, válvulas, compuertas de inspección. Para el diseño del sistema de extracción de polvo se debe tener en cuenta los siguientes parámetros, el diámetro de los ductos, las pérdidas de presión ocasionadas por accesorios, caudal, velocidades dentro de la tubería, rugosidad del

material. Es por esto que este proyecto busca realizar el diseño de un sistema de extracción de polvo en el molino Procecas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El arroz conforma uno de los alimentos básicos en gran parte de la población mundial lo que representa una mayor exigencia en la calidad del producto [5]. El proceso de secado de arroz tiene como objetivo la reducción del contenido de humedad para su almacenamiento y conservación. Las altas temperaturas en el proceso de secado ofrecen una mayor eliminación de la humedad lo cual reduce los tiempos de secado [6].

En la actualidad, la mayor parte de los molinos presenta gran producción de material particulado esto se debe a que el arroz contiene un alto porcentaje de impurezas debido a esto se libera polvo en el aire. Mediante el transporte del grano de arroz de un proceso a otro se generan grandes cantidades de material particulado suspendidos en el aire, generando baja visibilidad y afecciones respiratorias en la salud de los trabajadores e incrementando los costos de mantenimiento en los equipos. Los sistemas de extracción de polvo son los medios más eficaces para el control de material particulado, siendo de gran importancia en las industrias que se dedican al procesamiento de granos y cereales.

Con el fin de mejorar sistemas que implican las áreas de termodinámica, materiales, diseño y el uso software que faciliten el análisis y comportamiento de los equipos que hay en las industrias. Llevar a cabo una transición de los conocimientos teóricos al campo laboral, generando así una experiencia al ingeniero mecánico.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de extracción de polvo para el área de secamiento en el molino Procecas.

1.3.2 Objetivo específico

- Determinar las variables de diseño del sistema de extracción de polvo en el área de secamiento molino Procecas.
- Calcular las dimensiones del sistema de extracción de polvo ligero en la sección de secado del procesamiento de arroz mediante la elaboración de un script para optimar el diseño.
- Seleccionar el ventilador que satisfaga las necesidades en el sistema de extracción de polvos.
- Elaborar los planos de ingeniería para la construcción del sistema.
- Elaborar el Informe técnico financiero para dirección de la empresa.

En el capítulo 2 se aborda el estado actual lo que abarca antecedentes, detalles de los procesos que se llevan a cabo en el molino Procecas y se aborda las propiedades en los fluidos, así como las pérdidas que se generan en las tuberías. En el capítulo 3 se aborda la metodología a seguir para el diseño de sistemas de succión. En el capítulo 4 se realiza el desarrollo del diseño de sistema de succión desde las variables que influyen en el diseño de los ductos de transporte de material partículas, la selección del ventilador, el diseño del separador ciclónico y diseño del filtro de mangas. En el capítulo 5 se realiza un análisis técnico financiero donde se conocerá los materiales necesarios para la fabricación. En el capítulo 6 se aborda el alcance en el montaje de los puntos de captación.

2. ESTADO ACTUAL

2.1 Antecedentes

Carpio & Sánchez 2014 diseñaron y evaluaron un sistema de succión de polvo para la disminución de agentes contaminantes en una planta de balanceados para animales. El propósito era disminuir riesgos laborales y de salud. Realizando previamente un estudio de las partículas contaminantes mediante el estudio de concentración de partículas suspendidas en el aire utilizando el equipo micro dust pro. Ellos analizaron las velocidades de captura y transporte en tuberías, y concluyen que la velocidad no debe ser menor a 10 m/s. Elaboraron el diseño del recolector de polvo con el software CASALS 60 Hz donde se obtienen diámetros y la presión total en el sistema de tuberías de 72.56 mm H₂O. concluyeron que en el proceso de diseño se deben tener en cuenta las caídas de presión, flujo másico, el caudal, estos parámetros influyen en el diseño, dimensionamiento y selección del ventilador [7].

Liu 2019 realizó estudios sobre el efecto de control de polvo en túneles de construcción con tuneladora (TBM) basado en tecnologías de simulación (CFD). En el proceso de perforación de roca se producen grandes cantidades de polvo con niveles entre 20 mg/m³ y 50 mg/m³, ante el alto índice de polvo esto puede generar enfermedades neumoconiosis y enfermedades relacionadas. Para el análisis se establecen modelos físicos y matemáticos. La simulación se realiza con ANSYS FLUENT y se utilizó la ecuación de Euler-Lagrange. Luego de realizar la simulación se procede a tomar muestra de campo con la finalidad de verificar resultados obtenidos en la simulación. En cuanto esté más cerca los valores de concentración de polvo más similitud tiene el valor medido en campo con el valor de la simulación. Cambiando el caudal de extracción de polvo se puede controlar con eficiencia de 42,81% y 46,34% [8].

Monge Araya 2006 Realizó el cálculo y evaluación del sistema de succión de polvos de la torre de secado de detergente. Se realizó el análisis de utilizar el mismo motor y ventilador, con las posibilidades de comprar otro ventilador, el cambio de secciones de tubería y adición de puntos nuevos de succión para implementarlo en otros equipos para cubrir la necesidad de limpieza y disminución de desperdicio. Este estudio se limita al análisis de mediciones obtenidas para los parámetros de velocidades. Se implementa una metodología mixta donde se desarrolla balance de aire a través de compuerta de ajuste y sin compuerta de ajuste, logrando una mayor aproximación al caso real, el límite de tolerancia permitido es del 5% en las pérdidas de presión en los ramales, donde se llegase a superar se emplea un dámper para equilibrar el ramal con menor resistencia. Se obtiene como resultado la velocidad mínima que debe de tener el sistema de tuberías de 8.7 m/s. La cual garantiza el transporte de detergente del nivel 1 al nivel 9, con los datos de velocidad mínima obtienen los caudales en los puntos de succión requeridos. Para cubrir la necesidad del sistema de succión se debe de tener un ventilador con capacidad 29500 m³/h a 2580 rpm en comparación a los 10000 m³/h que tiene el sistema actual o realizar la implementación de otro ventilador con un caudal de 20000 m³/h y cambios de diámetros [9].

Condori 2020, desarrolló un sistema de desempolvado para la línea de transporte de cemento, con el fin de reducir costos de mantenimiento y producción, evitar causar un impacto ambiental. El problema se da en el transporte de un proceso a otro, generando la suspensión de partículas en el aire. En el desarrollo del proceso requiere determinar calcular el caudal, las pérdidas en la tubería, la potencia del ventilador. Con el sistema de desempolvado se logró reducir la carga la carga de polvo generado a 20 mg/m³ y evitar contaminar el medio ambiente. Se logran el cálculo de las velocidades y caudales en 3 puntos. El caudal de 1640 cfm y velocidad de 11,72 m/s el primer punto, 1150 cfm con velocidad de 11,72 m/s para el punto 2,

y 202,5 cfm con velocidad de 10,95 m/s para el punto 3. ángulos recomendados para los ductos son de 60 en subida y 45 en bajada [10].

Márquez Quizhpi & Ulloa Montero 2018 diseñaron un sistema de extracción de polvo y viruta de madera. Analizaron alternativas tecnológicas de extracción de polvo que se puedan llevar a cabo en la carpintería del programa PACES. A través de evaluación de parámetros de entrada necesarios para el dimensionamiento de los componentes dichos resultados comprobados con programas de simulación ANSYS. Determinaron un caudal de 5544 m³/h y una presión 4165 Pa necesarios para el correcto funcionamiento del sistema de extracción. La incorporación de válvulas mariposa y dampers en el sistema mejoran la eficiencia del sistema. Se tiene gran importancia la inclusión de sistemas de extracción de polvo para mejorar la calidad del ambiente de trabajo [11].

Bustamante Tamayo 2015 diseñó un sistema de extracción de viruta y polvo de papel para procesos de refilado. Se divide en tres partes, extracción de material particulado, separación de viruta y polvo, recepción del polvo. Cálculo los diámetros de la tubería teniendo en cuentas las pérdidas de succión en tubería donde está influida por la presión dinámica, estática y accesorios. De acuerdo a los diámetros calculados asegura que el material no presentará sedimentación, lo cual previene obstrucciones. Algunos criterios de diseño fueron seleccionados teniendo como referencia otros diseños, manuales y experiencia, además del software Inventor para la esquematización de 2D y 3D [12].

Pérez Peralta 2020 llevó a cabo la instalación de un sistema de transporte neumático y separador ciclónico para un proceso de molienda. Dicha instalación se utilizará para los trasiegos en la molienda de semillas de algarrobo. Empleo un separador ciclónico donde es muy importante mantener las relaciones geométricas

para la extracción de partículas de hasta 5 μm y una eficiencia del 90%. según ensayos se calculó una entrada de aire con una velocidad entre 15.2 m/s – 27.4 m/s, pero se ha demostrado que una velocidad de 22 m/s se obtiene una mayor eficiencia de recolección [13].

Pilay Guerra & Gavidia García 2020, llevaron a cabo el estudio y diseño de un ciclón con el fin de llevar un control en la recolección de partículas en una empresa productora de libros. Se utiliza una metodología experimental e investigación documental o bibliográfica con enfoques cuantitativa y cuantitativa. El diseño del sistema de extracción se emplea según las características de las micras de papel, la eficiencia y la capacidad. Analizaron 3 tipos de ciclones de entrada tangencial y descarga axial. Variables que se tienen en consideración para diseñar un sistema eficaz son el caudal de aire este debe de estar en un rango de 0.5 a 12 m^3/s , unas velocidades de entrada 15 m/s – 27 m/s y una concentración de partículas entre 2 a 230 g/m^3 . En cálculos de potencia se necesitó un motor de 70 HP para el traslado de material particulado y evitar la suspensión del material dentro del ciclón. Se observa una eficiencia del 96,5% y un caudal mínimo de 3.5 m^3/s [14].

Santos 2008, Realizó el diseño y construcción de un separador ciclónico utilizado en la industria naval, donde da a conocer los diferentes tipos de separador ciclónico con un alto grado de eficiencia. El objetivo era controlar la contaminación atmosférica. Donde se demuestra las medidas del separador ciclónico tienen relación con el Diámetro del ciclón (D_c). Se diseña bajo los siguientes parámetros, una velocidad de entrada de 17 m/s, densidad de partículas de 1500 kg/m^3 , una temperatura de 89°C, presión de trabajo de 101 kPa con una eficiencia de separación del 80%. en los procesos donde se utilizan como en el área de soldadura, en procesos de arranque de virutas para la separación de sólido-gas donde se utilizan filtros de mangas, separando partículas entre 2 y 30 μm [15].

Zapata Liberio 2015, Desarrolló un análisis de factibilidad para un sistema de extracción de material particulado en el área de ensacado en una planta cementera. Teniendo en cuenta el mercado actual, marco legal ambiental, identificando los diferentes tipos de colectores, y realizando un análisis económico. Con el fin de reducir costos de mantenimiento debido al desperdicio de material reduciendo tiempos muertos en las operaciones, evitar la contaminación en el aire, mejorando el cuidado de la seguridad y salud de los trabajadores. Determinó el consumo de aire necesario para cada equipo dando un total de caudal requerido de 13700 m³/h, Cálculo los diámetros para la red de tuberías los cuales varían entre 120mm y 500mm, y determinó las pérdidas de presión que se presenta en el sistema en este caso es de 170 mmH₂O. Se obtiene una tasa de retorno del 72% lo que indica que el proyecto es económicamente factible [16].

2.2 Descripción de la empresa

Es necesario conocer una breve descripción de las áreas del molino Procecas con la finalidad de estar al tanto cada uno de sus procesos.

2.2.1 Misión.

SYH VESGA SAS ZOMAC, empresa dedicada a la comercialización y venta de arroz, mediante la industrialización y procesamiento del cereal con altos estándares de calidad, en busca de satisfacer los requisitos y necesidades de nuestros clientes y consumidores, cuenta con el recurso técnico, humano y financiero necesario e idóneo para cada actividad, permitiendo la adopción masiva de tecnología del sector agro-industrial que contribuyen al mejoramiento diario de nuestros procesos internos, la economía y desarrollo de nuestros procesos internos, la economía y desarrollo de nuestra empresa en el departamento del Casanare.

2.2.2 Visión

SYH VESGA SAS ZOMAC, para el 2025 estará consolidada como una empresa líder a nivel nacional, en la comercialización y proceso de industrialización del arroz, en el sector de la molinería con productos de alta calidad siendo competitiva y flexible a la necesidades y expectativas de nuestros clientes.

2.3 Descripción de áreas de trabajo

Como se muestra en la **Figura 1** se aprecia el diagrama de flujo de proceso del molino Procecas, donde se inicia con la recepción de materia prima, luego pasa por el área de secamiento que inicia desde las tolvas de recibo hasta el secado por torre 2 y almacenamiento en bodegas, luego se entra en el área de trillado de arroz que va desde la limpieza hasta la clasificación, se tiene un área de empaquetado donde se hace el proceso de embalaje en diferentes presentaciones y por último el área de despachos.



Figura 1 Diagrama de flujo de procesos

2.3.1 Recepción

Este proceso consiste en recibir la materia prima conocida como arroz verde o paddy con la realización de pruebas de laboratorio. Se analiza lo que son impurezas y humedad, con el objetivo de diagnosticar el estado que se tiene del producto.

2.3.2 Secado.

El proceso secado es donde se lleva a cabo la eliminación de impurezas contenidas en el producto, en el proceso de corte los granos de arroz llegan a contener una humedad del 18-27% [17], la reducción en el contenido de humedad a un estado óptimo con un porcentaje de humedad que ronda entre los 12-13% de humedad [18], permite su conservación por tiempos más prolongados, el grano de arroz debe estar entre 17°C a 18°C con una humedad relativa del 65% o 70% [19].

Cuando se habla del sistema de secado del molino Procecas se involucran todos los equipos que interactúan para el proceso de secado de arroz verde o paddy. consta de una torre de secamiento con flujo CI (columna entera) cuenta con una capacidad de 200 toneladas [20]. Se encuentra alimentada por un flujo de aire caliente el cual es generado por un horno de altas temperaturas. Gracias a la combustión que se genera mediante un horno que utiliza como combustible biomasa generando hasta temperaturas de 300°C [21], la biomasa se conoce como fuente de energía renovable y se compone de algunas materias orgánicas como residuos agrícolas, forestales y leñosos [22]. Produce bajas emisiones de gases efecto invernadero (GEI) siendo amigable con el ambiente.

2.3.3 Trillado

Consiste en remover la cascara mediante la molienda de donde se sacan los diferentes subproductos del arroz como el arroz integral, granza, cristal, entero, harina, cascarilla de arroz y se clasifica según los porcentajes que se requieran para el producto final [23].

2.3.4 Empaquetado

Se realiza el empaclado y embalaje del producto en sus diferentes presentaciones como libra, kilogramo, arroba y bulto. Cada uno con las cantidades de arroz que requiera el cliente o la marca.

2.3.5 Despachos

Es el área encargada de organizar y despechar el producto a los diferentes departamentos. Utilizando los diferentes medios de transporte como tracto-mula, doble troque o sencillos.

2.4 Estudios de calidad del aire

Realizar estudios de calidad de aire se torna importante para empresas que generan material particulado a través de los procesos de producción. Evaluar la concentración de los contaminantes dependen de la tasa de emisión a la atmosfera su dispersión y eliminación. Con el fin de determinar la calidad de aire en la cual influencia el molino se contratan servicios para el monitoreo del molino PROCECAS. Se evalúa el material particulado (PM10) de acuerdo con los lineamientos establecidos por el ministerio de ambiente.

Tabla 1Punto de cortes del ICA Fuente: Resolución 2254 de 2017. MADS.

Indice de calidad del aire		Puntos de corte del ICA	
ICA	Categoría	PM10 24h	PM2.5 24h
0	Buena	0	0
50		54	12
51	Aceptable	55	13
100		154	37
101	Dañina a la salud de	155	38
150		254	55
151	Dañina para la salud	255	56
200		354	150
201	Muy dañina a la salud	355	151
300		424	250
301	Peligrosa	425	251
500		604	500

En la **Tabla 1** se determinan los índices de calidad presentes en la realización de estudios de calidad del aire para los diferentes contaminantes en los cuales están PM10 y PM2.5. para el molino **PROCECAS** se obtienen resultados para partículas PM10 se establecen en un promedio de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se encuentra en un nivel aceptable y por debajo del límite máximo diario permitido, se permite aclarar que estos estudios se realizaron en puntos estratégicos dentro de la empresa donde se permite conocer la calidad del aire en zonas exteriores del molino. Los detalles del estudio se muestran en el **ANEXO 1**.

2.5 Bases teóricas

En el desarrollo de sistemas de captación de polvo, se requiere identificar el comportamiento de los fluidos a través de los ductos, así mismo como sus propiedades y las pérdidas de presión generadas a través de todo el sistema.

2.6 Ecuación de Bernoulli

Describe el comportamiento de un flujo donde relaciona la presión, velocidad y elevación, es válida en regiones de flujo estacionario e incompresible [24].

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z = H \quad (1)$$

Donde H es la carga total en el flujo y es la sumatoria de la presión estática, dinámica e hidrostática, las unidades se expresan en metros.

V: velocidad del aire[m/s]

P: presión [Pa]

ρ = densidad [kg/m^3]

Z= altura piezométrica[m]

2.6.1 Presión Estática

Puede ser representada en columna de un fluido y es a presión generada por el fluido estático y depende del peso específico. Es una presión adicional a la que se le debe entregar el fluido de un punto de partida a un punto de destino [24], [25].

2.6.2 Presión Dinámica

Esta presión es generada por la velocidad en los ductos y representa la elevación necesaria para que un fluido alcance la velocidad en caída libre sin fricción y representa la energía cinética del fluido [25], [26].

2.7 Propiedades de los fluidos

2.7.1 Densidad

Se refiere a la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia, esta depende de la temperatura y presión. En algunos líquidos y sólidos el cambio con respecto a la presión puede ser despreciable [27].

2.7.2 Peso Especifico

Es la relación existente entre el peso y el volumen las unidades del peso específico están dadas en newtons [26].

2.7.3 Viscosidad

Es la resistencia de un fluido durante su fluidez y deformación, está asociada a la potencia necesaria para mover una superficie aerodinámica, esta responde a las pérdidas generadas en ductos, canales y tuberías [28].

Número de Reynolds

Permite la caracterización del movimiento de un fluido, está relacionada con las fuerzas inerciales y viscosas, es un número adimensional que nos permite determinar si un flujo está en régimen laminar o turbulento [28].

Régimen laminar

Es considerado porque los perfiles de velocidad no varían, las partículas viajan a velocidad constante, el fluido pareciera viajar como si fueran capas una sobre la otra y las fuerzas viscosas dominan toda la sección transversal, se garantiza un flujo laminar con un número de Reynolds menores a 2000 para el caso de flujos internos en tuberías [27].

2.7.4 Régimen turbulento

En la mayoría de prácticas de ingeniería se observa el flujo en régimen turbulento, se caracteriza por fluctuaciones aleatorias y rápidas denominadas remolinos a través del flujo. Transportando masa, cantidad de movimiento y energía a diferentes regiones con mayor rapidez [26].

2.8 Pérdidas en tuberías

En mecánica de fluidos uno de los campos más estudiados en la ingeniería hidráulica, son las pérdidas en tubería debido al rozamiento debido a las diferentes capas en los fluidos. Las pérdidas nos determinan la circulación y el reparto de caudales en redes de tuberías complejos. En casi la totalidad de los flujos en redes de tubería son de tipo turbulento [29].

2.8.1 Pérdidas Mayores

Son las pérdidas generadas por la fricción, siendo proporcional a la velocidad del flujo y la longitud, es inversamente proporcional al diámetro de la tubería a la relación de la longitud al diámetro de la tubería y se expresa de forma matemática como la ecuación de Darcy [27].

$$h_M = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2)$$

Donde:

h_M = Pérdidas mayores debido a la fricción, [m]

L = Longitud de la corriente del flujo, [m]

D = Diámetro de tubería, [m]

V = Velocidad promedio del flujo, [m/s]

f = factor de fricción, [adimensional]

esta ecuación es comúnmente utilizada para tramos rectilíneos y tuberías de sección circular funciona tanto en flujo laminar como turbulento.

El factor de conversión se puede deducir para los régimen laminar y turbulento por separado, en régimen laminar está en función del número de Reynolds, en régimen turbulento está en función de la rugosidad relativa, el número de Reynolds y el diámetro [30].

Se puede utilizar la siguiente ecuación explícita para determinar f con una tolerancia de $\pm 1\%$ con las siguientes restricciones Y

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left[\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right] \right]^2} \quad (3)$$

Donde:

ϵ/D = rugosidad relativa [adimensional]

Re = Número de Reynolds [adimensional]

Rugosidad relativa es una relación entre la rugosidad absoluta y el diámetro siendo un parámetro adimensional. La rugosidad absoluta es una propiedad de los materiales, la cual indica las asperezas a nivel microscópico. Con el tiempo presentan incrustaciones generando una mayor rugosidad [25].

Calcular el factor de fricción resulta ser muy engorroso debido a que la densidad la rugosidad pueden variar en márgenes muy amplios lo que da resultados aproximados, una forma práctica es recurriendo a nomo-gramas siendo válidos para materiales comúnmente utilizados [31]. como se muestra en la **Figura 2** es un claro ejemplo de un nomo-grama, muestra el factor de corrección con respecto a la velocidad, la rugosidad y el diámetro. Tiene una clasificación de rugosidad entre muy liso y muy rugoso. El factor de corrección incrementa proporcional a la velocidad y rugosidad.

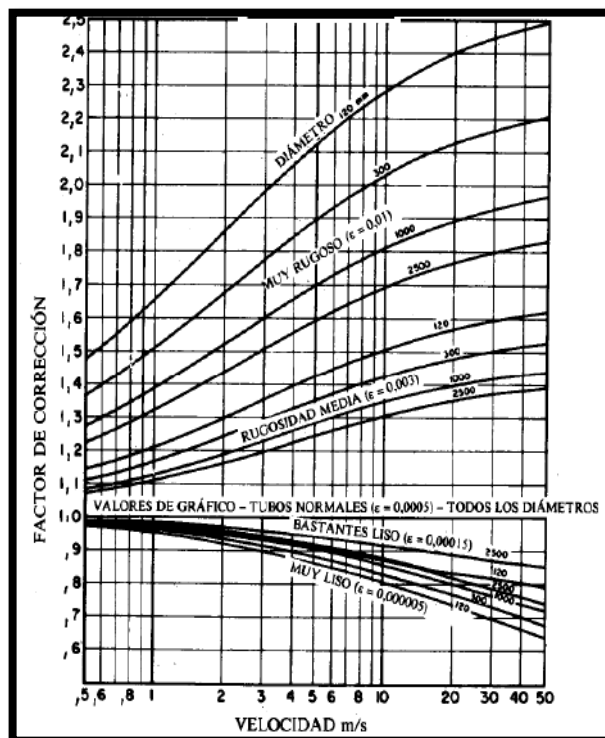


Figura 2 Factor de corrección [31]

2.8.2 Perdidas Menores

Se denominan perdidas menores, porque son generadas por los accesorios que hay en las tuberías como: codos, ramificaciones en forma de Y, válvulas, ensanchamientos, contracciones. Debido al fenómeno de separación y mezcla del flujo que producen estas pérdidas son menores en comparación a las pérdidas mayores en la mayoría de casos se cumplen. Hay casos donde las pérdidas menores superan las pérdidas mayores, se representa en coeficientes de pérdida K_l [24].

$$h_m = K_l \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

Donde:

h_m = Pérdidas menores debido a la fricción, [m]

K_l = coeficiente de perdidas menores, [m]

V = Velocidad promedio del flujo, [m/s]

g = aceleración de la gravedad, [m/s²]

2.8.3 Codos

Los coeficientes de perdida en los codos van en relación del radio y el diámetro [32].

La **Figura 3** muestra como el coeficiente de perdida va aumentado a medida que la relación de R/D es menor, esta grafica solo funciona para codos de sección circular.

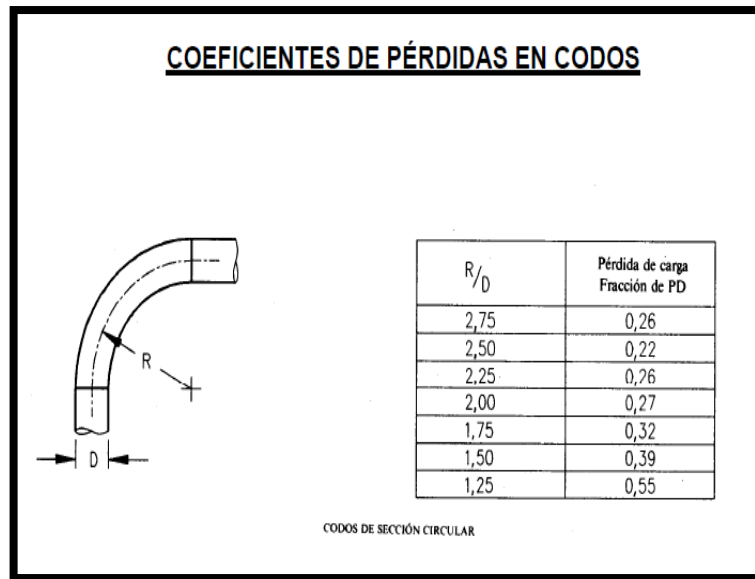


Figura 3 Coeficientes de pérdida en codos fuente [32]

2.8.4 Entrada de Ramales (pantalones)

En la **Figura 4** se muestra las pérdidas del brazo lateral, las pérdidas aumentan según el Angulo de inclinación. En los sistemas de succión de polvo se recomienda que la entrada de los ramales sea de un ángulo de 30° y en la reducción no supere los 15° [32].

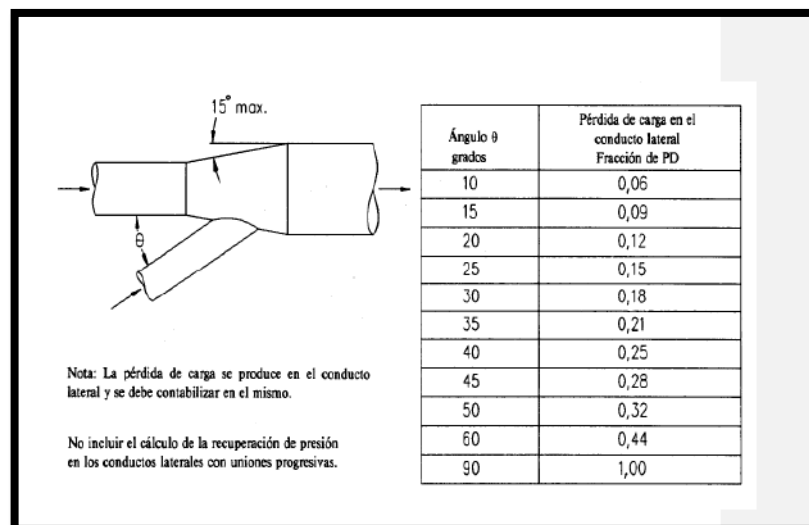


Figura 4 Coeficiente de perdida en entrada a ramales fuente: [32]

2.8.5 Reducciones

La **Figura 5** indica las pérdidas generadas por la reducción esta va relacionada con las pérdidas que se generan en las entradas como se muestran en la **Figura 4**, existen reducción de estrechamiento gradual y brusco, las perdidas en los ensanchamientos graduales se definen según el ángulo de la pieza con respecto a la reducción y los de estrechamientos brusco está en relación del A_2/A_1 .

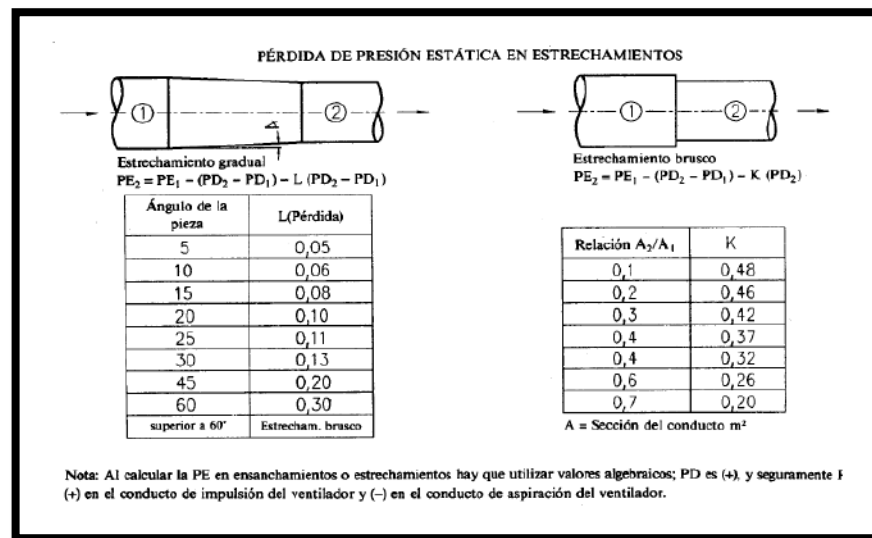


Figura 5 Perdidas en reducciones Fuente:[32]

2.8.6 Campanas de Captación

En la **Figura 6** se puede observar las pérdidas el factor de pérdidas en la entrada esto debido a las campanas ya sean de forma circular o rectangulares y cuadradas, el factor de pérdidas varía según el Angulo de la inclinación que se tiene en la campana. Es altamente recomendado en las campanas de captación ya sean verticales u horizontales la sección de la boca sea como mínimo el doble de la del conducto [31].

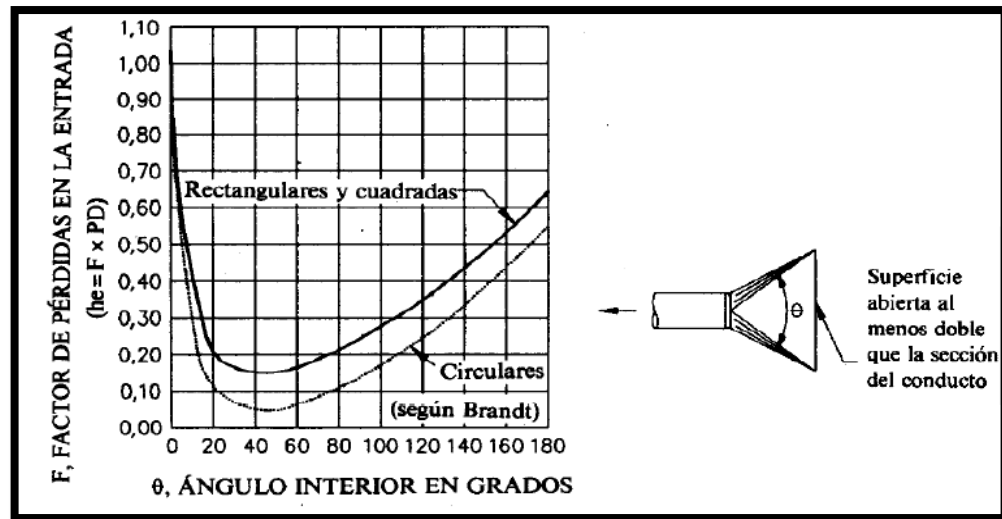


Figura 6 Factor de pérdida en campanas de captación fuente:[31]

2.8.7 Red de tuberías

Una red de tuberías está compuesta por 2 tipos de tubería en serie y paralelo siendo conectadas entre sí. En los análisis de tuberías se debe de cumplir la conservación de la masa en el sistema, la caída de presión y la pérdida de carga [27]. Las tuberías en paralelo se conocen porque las pérdidas a lo largo de diferentes ramales deben ser la misma en todos los puntos. Tubería en serie se le denomina donde el fluido se mueve en una sola trayectoria continua, las pérdidas se suman a la longitud de la tubería.

2.9 Elementos que componen un sistema de succión de polvo

2.9.1 Separador ciclónico

Un separador ciclónico está construido en forma cónica, donde se generan ciclones o vórtices en doble sentido esto debido a la fuerza centrífuga logrando que las partículas pesadas se adhieran a las paredes del separador ciclónico y logrando ser captadas como se muestra en la **Figura 7** esto debido a las fuerzas inerciales y de la gravedad. Son adecuados para la recolección de partículas mayor a $10\mu\text{m}$ y de los menos costosos en los sistemas de recolección de polvo[15] .

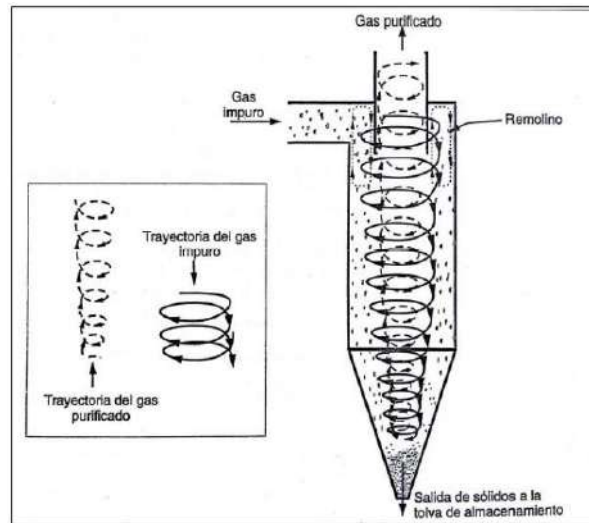


Figura 7 Separador ciclónico de entrada tangencial Fuente:[33]

2.9.2 Tipos de ventiladores

Como se puede observar en la **Figura 8** existen 3 tipos de ventiladores fundamentales en la ventilación [31]. En estos están los ventiladores centrífugos; estos se caracterizan por la generación de mayores presiones, pero bajos caudales. Ventiladores helicoidales o de flujo axial; estos generan altos caudales y bajas presiones. Ventiladores helicocentrífugos son ventiladores que tienen un promedio entre caudal y presión en comparación a los ventiladores centrífugos y helicoidales.

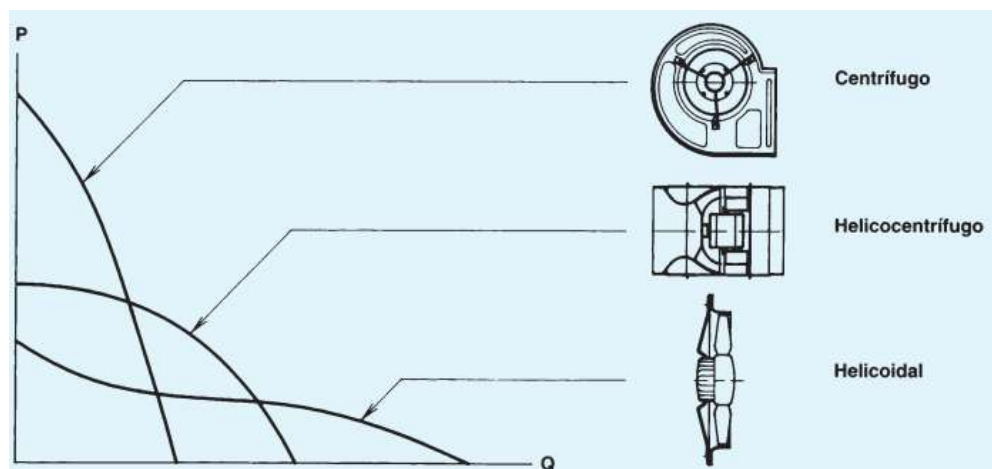


Figura 8 Tipos de ventiladores Fuente:[31]

Los ventiladores que se utilizan con mayor frecuencia son los centrífugos, una de las características influyentes en estos tipos de ventiladores son los tipos de álabe que pueden ser alabes adelante, radiales y atrás. La zona de trabajo optimo se localiza entre el 30-80 % del caudal máximo, dependiendo del porcentaje del caudal varía el porcentaje de presión total como se indica en la **Figura 9**.

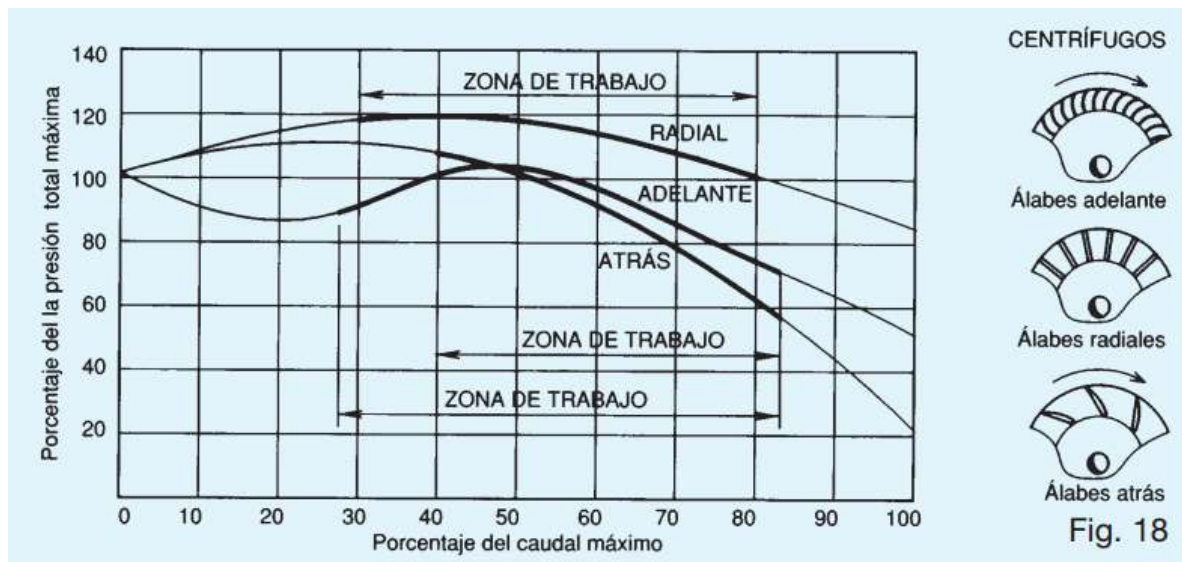


Figura 9 Zona de trabajo dependiendo del tipo de álabe

2.9.3 Filtro de mangas

Es un dispositivo que sirve para la separación de material particulado, por medio de un material filtrante en este caso mangas que son tejidos que utilizan un patrón definido y repetitivo, dependiendo de la aplicación o método de limpieza utilizado para remover el polvo atrapado en las mangas [34]. Estas mangas son contenidas en estructuras que llevan sistemas de pulse jet, así como se muestra en la **Figura 10**. Existen otros métodos implementados para la realización de la limpieza por sacudida o aire reverso.



Figura 10 Filtro de mangas Fuente:[35]

2.9.4 Campanas de captación

Las campanas se utilizan ampliamente en la industria para la captación de gases o partículas, permiten captar el material antes de que salga al medio ambiente [36].

2.9.5 Válvulas de aire

Es un dispositivo el cual nos permite regular la circulación de flujo por medio de un sistema que permite la obstrucción o liberación de los conductos, el que se utiliza con más frecuencia es la válvula de tipo mariposa como se observa en la **Figura 11** donde se muestra de vista frontal.

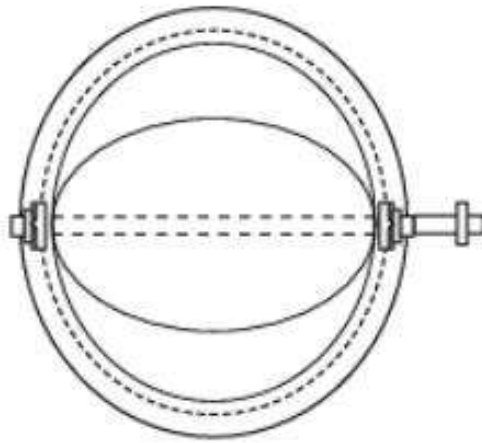


Figura 11 Compuerta mariposa Fuente:[37]

2.9.6 Compuertas de inspección

Son compuerta que permiten la inspección de la tubería en diferentes tramos de esta misma, el cual se puede identificar el estado en el que se encuentran las tuberías.

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

En este trabajo se implementará una serie de fases para el desarrollo de un sistema de succión, en los cuales se debe investigar los parámetros de diseño y funcionamiento óptimo. Se llevarán a cabo a través de la siguiente metodología.

3.1 Fase 1 análisis y diagnóstico de las áreas con mayor producción de polvo.

Llevar a cabo un recorrido por las instalaciones haciendo seguimiento al movimiento del producto desde su recepción hasta producto terminado. Realizar inspección visual en áreas donde se genera mayor producción de material particulado y determinar puntos críticos.

3.2 Fase 2 cálculo de diámetros, longitud, caudal y pérdidas de presión en la tubería.

La búsqueda de información de parámetros en el diseño es fundamental para un buen diseño, la toma de datos como la longitud es una de las variables que se ve implicada. El tener una visión de la trayectoria de la red de tuberías es necesario plasmarlo a un medio visible para esto se tiene en cuenta los programas CAD. Proceder a los cálculos necesarios para el sistema como la variación de diámetros en la trayectoria y a su vez está relacionada con las pérdidas de presión en las tuberías y el caudal necesario en el sistema.

3.3 Fase 3 selección del ventilador

En la industria existe gran variedad de ventiladores que su función satisfacer la necesidad requerida en sistemas de succión. Establecer parámetros como caudal y perdidas de presión son importantes en la selección del ventilador. Considerar los

diferentes tipos de ventiladores y la variación de aletas para lograr una selección adecuada.

3.4 Fase 4 trazos en el diseño de tuberías, cálculo de material.

En un diseño de tuberías se debe considerar los diferentes trazos para la realización de los diferentes accesorios como codos, entradas de ramales (pantalones), tubería recta, campanas de captación, compuertas de inspección, válvulas.

3.5 Fase 5 análisis de costos

Analizar los recursos necesarios para la construcción del sistema tiene relación con el cálculo de la cantidad de material, la selección del ventilador, así como la mano de obra y otros materiales necesarios en su construcción. Implica los recursos económicos con los que cuente la empresa a donde va dirigido el proyecto y de equipos que se tengan disponibles.

4. DISEÑO DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVOS

4.1 Velocidades de captación en las campanas

Uno de los elementos importante determinar la velocidad en las campanas de captación, depende de la dispersión del contaminante al medio ambiente como se indica en la **Tabla 2**, donde especifica la liberación de las partículas según en el entorno en el que están que va desde la liberación del material particulado desde velocidades bajas hasta velocidades altas y zonas con movimiento de aire muy elevados partiendo de esto se determinan las dimensiones que deberían tener las campanas de captación.

Tabla 2 velocidades de captación en campana fuente:[33]

Dispersion de contaminacion	Casos de aplicación	Velocidades de captura m/s
Liberado practicamente sin velocidad en aire tranquilo	Evaporacion desde depositos, desengrase	0,25-0,50
Liberado a baja velocidad en aire moderadamente tranquilo	Cabinas de pintura, llenado de recipientes, transferencia entre cintas transportadoras a baja velocidad, soldadura, recubrimiento superficiales, pasivado.	0,51-1,00
Generacion activa en una zona de rapido movimiento de aire	Cabinas de pintura poco profundas, llenado de barriles, cargado de cintas transportadoras, machacadoras.	1,01-2,50
Liberado con alta velocidad inicial en una de movimiento muy rapido de aire	Desbarbado, chorreado abrasivo, desmoldeo en fundiciones	2,51-10

4.2 Velocidades recomendadas para el diseño de conductos

Para garantizar el transporte de material particulado a través del sistema de conductos es necesario que las velocidades internas impidan la sedimentación de las partículas que se encuentran suspendidas en el aire para esto se encuentran las

velocidades necesarias en la **Tabla 3**, donde se observan las velocidades para distintos tipos de materiales que van desde vapores y gases hasta polvos pesados y húmedos, además se tienen rangos de velocidades que van desde 5 m/s a velocidades mayores de 22,5 m/s [38]

Tabla 3 Velocidades recomendadas para diseño de conducto FUENTE : [38]

Naturaleza del contaminante	Ejemplos	Velocidad de diseño(m/s)
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos	5,0-10
Humos de soldadura	soldadura	10-12,5
Polvo muy fino y ligero	Polvo fino de caucho,baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo detergente, raspaduras de cuero.	12,5-15
Polvo secos	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute, polvos de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general.	15-17,5
Polvo ordinario	Corte de ladrillos, polvo de arcilla, polvo de caliza, polvo de embalado y pesado de amianto de industrias textiles.	17,5-20
Polvos pesados	Polvo aserrado(pesado y humedo), viruta metalica, polvo de desmoldeo en fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de laton, polvo en el taladro de fundicion, polvo de plomo.	20-22,5
Polvo pesado y humedo	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento humedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir(pegajosos)	>22,5

4.3 Análisis y diagnósticos de área con mayor producción de polvo

La mayor generación de polvo se ve reflejado en el transporte de materia prima donde se ven implicados diferentes equipos como lo son transportadores de banda, elevadores de cangilones, secadoras de granos vertical.

La realización de recorrido por las instalaciones permite determinar las zonas más afectadas por la generación de polvo. la zona con mayor afectación representa el paso final que tiene el arroz en el proceso de secado y su posterior almacenamiento como se muestra en la **Figura 12**

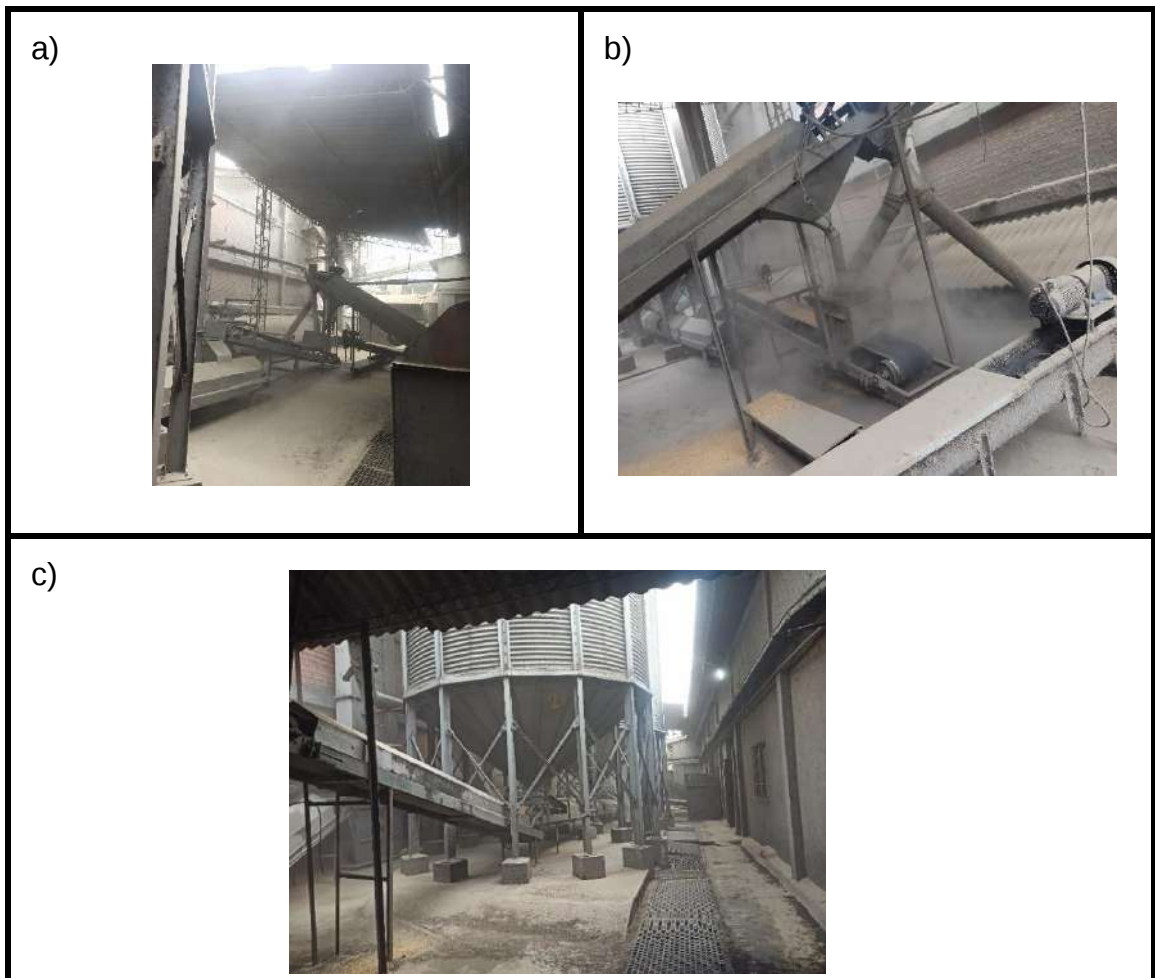


Figura 12 Área con mayor producción de polvo

En el molino Procecas se realiza el secado en 3 fases:

- **Fase 1:** se encuentra el recibo de arroz y secado a través de secadoras de grano inclinadas se reduce de un porcentaje de recibo del 22% de humedad a un 18%.
- **Fase 2:** producto de arroz paddy pasa a través de una torre secadora con capacidad de 200 Ton que reduce la humedad de un 18% a 15%.
- **Fase 3:** el arroz es pasado a través de una segunda torre de secado con capacidad de 100 Ton reduciendo la humedad hasta un 12,5% para luego su posterior almacenamiento.

La **Figura 12a** y **Figura 12b** representa la llegada del producto de arroz que ha terminado la fase 2 de secado e inicia la fase 3, se evidencia la alta generación de material particulado esto debido a las bandas transportadora y las elevadas alturas por la cual el producto tiene que atravesar para ir de un proceso a otro.

La **Figura 12c** se observan las condiciones a las que se encuentra el área donde se lleva a cabo la fase 3 del proceso de secado y almacenamiento. Se observan problemas de limpieza, material particulado que dificulta la visibilidad y puede ocasionar afecciones respiratorias.

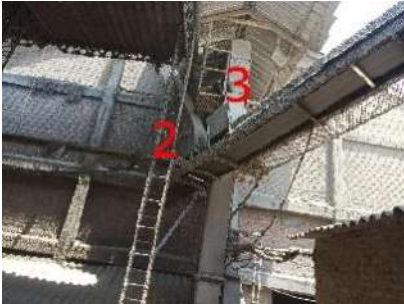
Se identifican todos los equipos y puntos clave en la generación de polvo en el área donde se realiza la fase 3 de secado siendo el último paso de secado y su posterior almacenamiento.

Tabla 4 Codificación de equipos

AREA		SUB AREA		NOMBRE	
SECAMIENTO	SE	ALMACENAMIENTO PADDY	AP	ELEVADOR DE CANGILONES	EL
		ALTERNOS	AL	TRANSPORTADOR DE BANDA	TB
		SECADO DINAMICO	DI	SILO TEMPERO	ST
		SECADO ESTACIONARIO	ES		

En el último paso de secamiento se tiene una decodificación para los equipos que se implementan en este proceso y en la **Tabla 4** se muestra cómo se organiza el código único asignado a los equipos esta se organiza área, sub área y nombre.

Tabla 5 Puntos críticos de generación de polvo

Ítem	Código	Descripción	Imagen
1	SE-AL-EL-016	Elevador de cangilones que descarga el arroz paddy seco de las bodegas de almacenamiento.	
2 3	SE-AP-TB-036 SE-AL-EL-016	Elevador de cangilones que descarga el arroz de la bodega y lo envía a través de una banda transversal aérea al silo pulmón en el área de trilla. A la banda transportadora tiene 2 caídas de arroz.	
4 5	SE-ES-TB-019 SE-ES-TB-020	Bandas transportadoras número 19 recibe el arroz de secadoras inclinadas y el producto es recibido por la banda transportadora 20 debido a que es inclinada se tiene una altura notable en la caída y transporte de arroz.	

6	SE-ES-TB-020	Se tiene una bifurcación en la línea de procesos la línea. Donde se tiene una línea directa a torre de secado que conforman TB-20 y TB-22. La otra línea se utiliza para llenar silos temperos ST-03, ST-04 utilizados para el reposo del producto se utiliza TB-20 y EL-008.	
7	SE-ES-TB-022		
	SE-DI-EL-008		
	SE-ES-ST-003		
	SE-ES-ST-004		
8	SE-ES-TB-022	TB-20 recibe carga de arroz de silo tempero ST-03 esto genera liberación de polvo en el ambiente.	
	SE-ES-ST-003		
9	SE-ES-TB-022	Se presenta la caída de arroz en la banda TB-22, además se presenta el descargue de producto de la banda TB-22 a TB-23.	
10	SE-ES-TB-023		
	SE-ES-ST-003		
11	SE-DI-EL-011	Elevador de cangilones que transporta el producto a bodega de almacenamiento.	

12	SE-ES-TB-023	Banda transportadora que descarga el arroz hacia elevador EL-11.	
14	SE-ES-TB-023	Se presenta un conjunto de equipos como bandas y elevadores en las operaciones de la línea de secado, se presentan bypass para la realización de cambio de dirección en el producto dirigiéndolos a diferentes líneas, así como la entrada y salida de la secadora de grano.	
15	SE-DI-EL-009		
13	SE-ES-TB-024 SE-ES-TB-026		
16	SE-ES-TB-023 SE-DI-SG-002	Descargue de la torre de secamiento SG-02 hacia banda transportadora.	

Se localizan los puntos críticos para el diseño del sistema de extracción de polvo como se muestra en la **Tabla 5** . para la selección de estos puntos se tiene en cuenta la generación de polvo y la altura de caída del producto a través de los sistemas de transporte utilizados en el proceso.

4.4 Toma de mediciones

Con la finalidad de tener datos lo más precisos posible se construye un modelo 3D con ayuda del programa **AutoCAD** con las mediciones de todos los equipos implicados en el proceso, a continuación, en la

Figura 13 se observa la distribución de los equipos con sus diferentes vistas desde la Vista isométrica hasta vista superior. En el conjunto se encuentran las bodegas de almacenamiento, torres de secamiento, silos temperos, elevadores y bandas transportadoras.

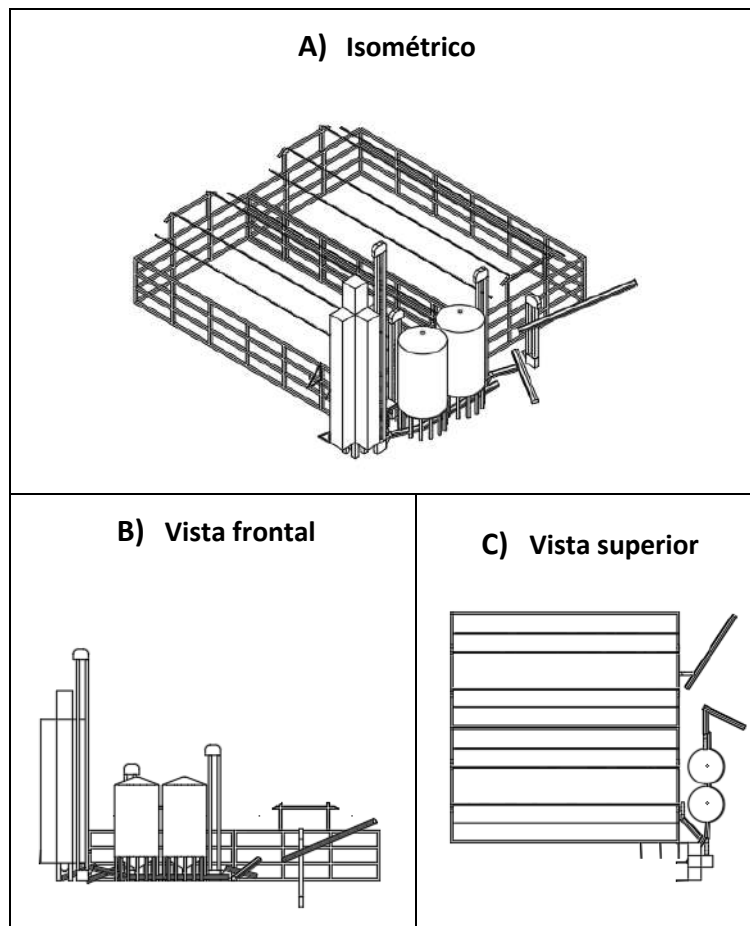


Figura 13 Modelo 3D de las instalaciones en la fase final de secado

Los modelos 3D facilitan el diseño en ingeniería, el cual permite realizar modificaciones en el sistema de succión sin implicar mayores costos.

4.5 Determinación de caudal necesario en la zona afectada

Se cálculo el volumen que tiene el área afectada, así como se muestra en **Figura 14** donde se encierra con un cuadro el volumen que se involucra en el proceso donde se tiene mayor generación de polvo, dado que esta zona se encuentra descubierta el material particulado es liberado al ambiente ocasionando afectaciones a las zonas cercanas y a sus habitantes.

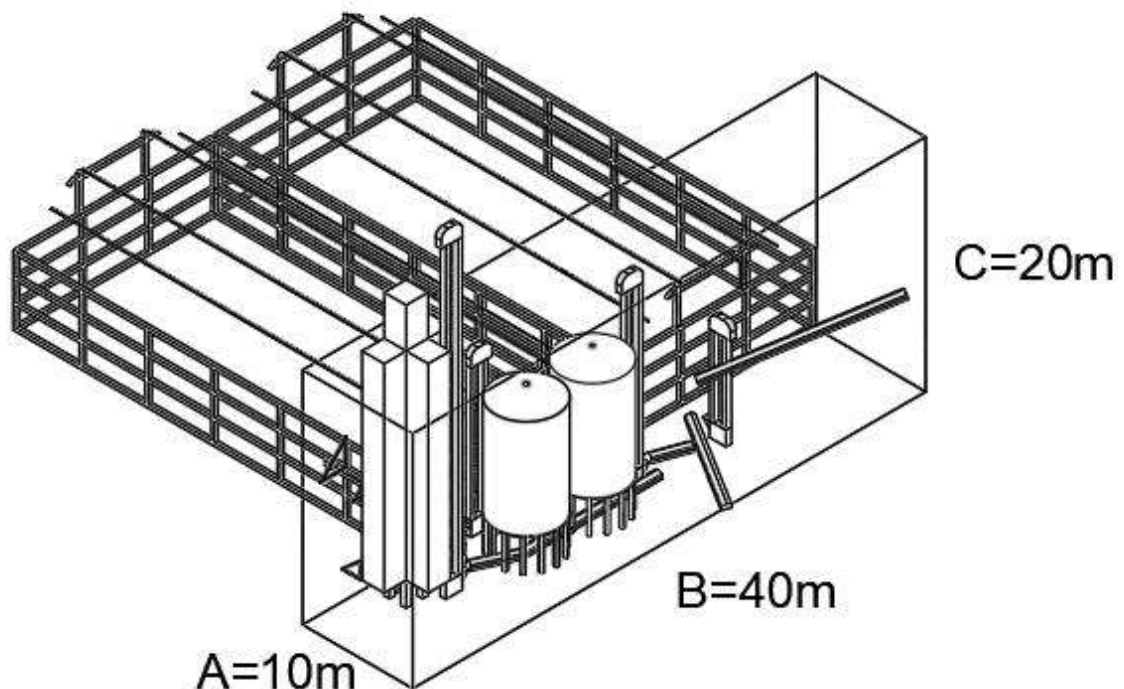


Figura 14 Volumen con mayor afectación de polvo

En la **Figura 14** se identifica las dimensiones que comprende el área de secado donde se tiene mayor exposición de polvo generado por el transporte del producto paddy en la ultima etapa de secado, se calcula el volumen del área afectada.

$$V = L \times L \times L = A * B * C \quad (5)$$

Donde:

V=volumen[m³]

$$V = 40m \times 20m \times 10m = 8000m^3$$

Como mínimo se requiere evacuar este volumen de aire alrededor de 1 hora, este es el tiempo en el que el área de secado llega al punto más crítico.

$$\dot{Q} = \frac{V}{t} \quad (6)$$

Donde:

$\dot{Q}$ = Caudal

V = Volumen

t = tiempo

$$Q = \frac{8000m^3}{1 h} = 8000 \frac{m^3}{h}$$

Este sería el caudal mínimo necesario que se necesitaría en el sistema de succión a esto se le adicionara un factor de diseño del 25% por lo tanto, el caudal necesario seria de 10 000 m³/h.

4.6 Distribución de caudal en puntos de captación

Para la determinación de los caudales requeridos en los puntos de captación se realiza mediante el método de volúmenes de control para determinar los caudales en m³/s. Para esto se desarrolla la **Tabla 6** donde se determinan los caudales en cada punto anteriormente mencionado.

Tabla 6 Caudal mínimo en puntos de captación

PUNTOS	IMAGEN	VOLUMEN m^3	FACTOR SEGURIDAD	CAUDAL (m^3/s)
A) Punto 5-7-11-13-16.		Dimensiones de cono con reducción de cuadrado a círculo tiene Diámetro=120 mm Cuadrado(740x500) Volumen=0.17 Volumen calculado mediante programa AutoCAD 2019.	1.3	0.22
B) Puntos 1-2-3-4-6-8-9-10-12-14-15.		$V=0.5 \times 0.5 \times 0.5=0.125$	1.3	0.17

En la **Tabla 6** en la sección B, tenemos volúmenes de control en bandas transportadoras en la parte inicial y final donde está el cargue y descargue de producto a través de la línea de producción. Se incluye la entrada de los elevadores de cangilones.

En la **Tabla 6** en la sección A, en los puntos mostrador se trabaja el volumen de control en base a campanas de captación previamente ya instaladas para evitar sobre costos.

Los elevadores de cangilones presentan la mayor generación de polvo debido al movimiento rotatorio que se presenta internamente, un ejemplo es la **Figura 15** donde se aprecia la cantidad de polvo generado.



Figura 15 polvos generados por elevador de cangilones

4.7 Diámetro de tubería en puntos de captación

A partir de los caudales definidos anteriormente en la **Tabla 6** procedemos a calcular los diámetros a utilizar en los puntos de captación mediante la siguiente ecuación.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (7)$$

Donde:

D: Diámetro [mm]

Q : Caudal [m^3/s]
 V : Velocidad [m/s]

La velocidad de captación se determina mediante la **Tabla 3**, el polvo generado en la sección final de secamiento es de polvos ligeros esto debido a que en esta parte el arroz paddy llega con una humedad del (14% – 16%). Los rangos de velocidad para polvos ligeros esta entre (10 m/s – 15 m/s). se escoge una velocidad de 15 m/s. se aplica la **EC. (7)**.

Sección A)

$$D = \sqrt{\frac{4(0.22 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi \times 15 \text{ m/s}}} = 0.1366 \text{ m} = 136.65 \text{ mm}$$

Sección B)

$$D = \sqrt{\frac{4(0.17 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi \times 15 \text{ m/s}}} = 0.1201 \text{ m} = 120.10 \text{ mm}$$

Se considera en escoger un diámetro único para todos los puntos de succión ya que se tienen diámetros similares se escoge un diámetro de 120 mm, se recalcula la velocidad que se tendrá con el caudal de 0.22 m^3/s con la siguiente ecuación.

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (8)$$

$$V = \frac{4(0.22 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi(0.12 \text{ m})^2} = 19.45 \text{ m/s}$$

Se tienen unas velocidades por encima del rango en el cual se cumple con la velocidad mínima de transporte de polvo.

4.8 Diseño de campanas de captación

Para el diseño de las campanas de captación se deberá tener en cuenta la velocidad del aire en la salida de la campana teniendo en cuenta **Tabla 2**, donde se obtienen los parámetros de diseño con respecto a las velocidades del aire en la campana se opta por rangos de velocidades entre (0.5 m/s – 1 m/s).

Para determinar las velocidades que se tienen dentro de la campana se realiza mediante un balance de caudales.

$$Q_1 = Q_2 \quad (9)$$

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (10)$$

$$V_2 = \frac{Q_1}{A_2}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

V: velocidad (m/s)

A: Área (m²)

CAMPANA 1

$$V_{\text{camp 1}} = \frac{0.17 \text{ m}^3/\text{s}}{0.25 \text{ m} \times 0.25 \text{ m}} = 2.72 \text{ m/s}$$

CAMPANA 2

$$V_{\text{camp 2}} = \frac{0.22 \text{ m}^3/\text{s}}{0.74 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}} = 0.6 \text{ m/s}$$

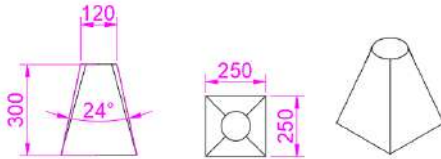
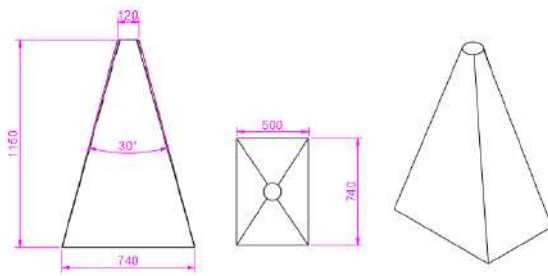
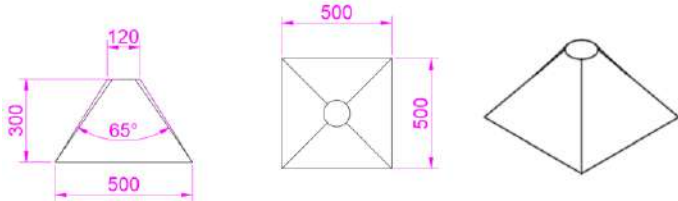
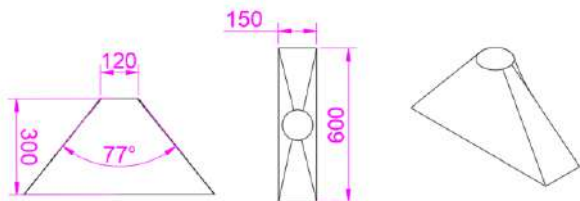
CAMPANA 3

$$V_{\text{camp 3}} = \frac{0.17 \text{ m}^3/\text{s}}{0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}} = 0.68 \text{ m/s}$$

CAMPANA 4

$$V_{\text{camp 4}} = \frac{0.17 \text{ m}^3/\text{s}}{0.74 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}} = 1.88 \text{ m/s}$$

Tabla 7 Campanas de captación

Campanas de captación		
 Figura 16 Campana 1	Nombre	Angulo
	D120XC250X250XH300	24
	Puntos	Caudal (m³/s)
	1-2-8	0.17
	Velocidad (m/s)	
	2.72	
 Figura 17 Campana 2	Nombre	Angulo
	D120XC740X500XH1150	30
	Puntos	Caudal (m³/s)
	7-11-15-16	0.22
	Velocidad (m/s)	
	0.6	
 Figura 18 Campana 3	Nombre	Angulo
	D120XC500X500XH300	65
	Puntos	Caudal (m³/s)
	4-6-9-10-12-13-14-15	
	Velocidad (m/s)	0.17
	0.68	
 Figura 19 Campana 4	Nombre	Angulo
	D120XC600X150XH300	77
	Puntos	Caudal (m³/s)
	3-5	0.17
	Velocidad (m/s)	
	1.88	

En la **Tabla 7** se tienen los datos de cuatro diferentes campanas a utilizar, se tienen datos como el nombre, el caudal, los puntos en donde se utilizarán estas campanas,

las dimensiones en mm, la velocidad del aire cumpliendo el rango establecido (0.5 m/s-1 m/s)

4.9 Diseño de sistema de ductos

En el diseño la realización de un esquema brinda el apoyo visual para determinar el número de codos campanas y tramos entre los diferentes puntos, la uniones o pantalones conocidos coloquialmente, se pueden identificar los troncales principales y secundarios seguidos de los ramales.

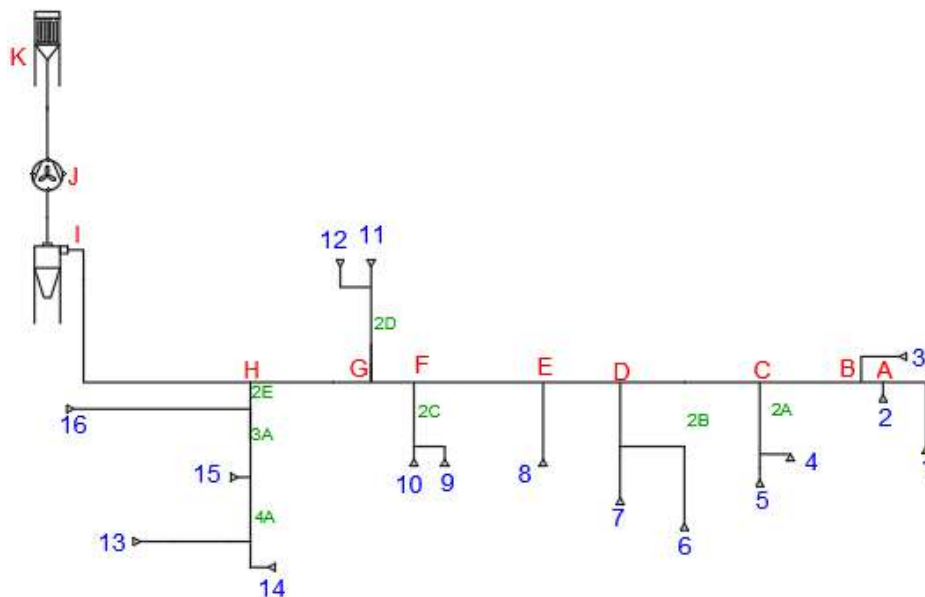


Figura 20 Esquema de sistema de ductos

En la **Figura 20** se identifica el ramal principal en letra mayúscula y de color rojo, los troncales secundarios de color verde escrita con número acompañados de letras, los ramales se encuentran identificados por números de color azul. Mediante el esquema de la **Figura 20** y con ayuda del programa AutoCAD se determinan los codos, campanas, uniones que se utilizaran para el desarrollo del sistema de succión.

Tabla 8 Accesorios en cada tramo del sistema de succión

TRAMO DE DUCTOS	COEFICIENTES DE PERDIDA EN ACCESORIOS (K)				SUMATORIA de coeficientes	CAMPANAS VALOR
	CODO R/D=1.5	ENTRADA UNIÓN	REDUCCIONES (30°)	CAMPANAS		
	0,39	0,18	0,05	0,18		Campanas (20°-80°)
1	1-90°			1	0.39	0.18
2		1		1	0.18	0.18
AB			1		0.05	
3	1-60° 2-90°	1		1	1.35	0.18
2A	1	1	1		0.62	
BC			1		0.05	
4	1-60° 2-90°			1	1.17	0.18
5	1-90°	1		1	0.57	0.18
CD			1		0.05	
6	1-60° 2-90°			1	1.17	0.18
7	1-90°	1		1	0.57	0.18
2B		1	1		0.23	
DE			1		0.05	
8	1-60° 1-90° 2-30°	1		1	1.74	0.18
EF			1		0.05	
9	1-90° 1-30°			1	0.78	0.18
10	1-60° 2-90°	1		1	1.35	0.18
2C	1-90° 1-60°	1			0.96	
FG			1		0.05	
11	1-30°			1	0.39	0.18
12	4-90°			1	1.56	0.18
2D	1-60° 1-90°		1		0.83	
GH	2-10° 2-15°		1		1.61	
13	1-60° 2-90°	1		1	1.35	0.18
14	2-90°			1	0.78	0.18
4A			1		0.05	
15	1-60° 1-90°	1		1	0.96	0.18
3A			1		0.05	
18	1-60° 4-90°	1		1	2.13	0.18
2E	1-90°		1		0.44	
HI	1-90°		1	1	0.44	0.18
IJ	3-90°				1.17	
JK	1-90°		2		0.49	

En la **Tabla 8** se muestran los tramos que se comprenden en el esquema de la **Figura 20**, además se pre establecieron los valores de los coeficientes de perdida.

Se tiene el coeficiente de perdida en codos que va en relación de la relación $D/R = 1.5$ como se muestra en la **Figura 3** se designa un valor de 0,38. En las uniones se recomienda utilizar una inclinación de 30 grados para minimizar el factor de perdida, la cual se determina a partir de la **Figura 4**. Las uniones están conformadas por una reducción y un brazo saliente, las pérdidas generadas en las entradas a los ramales se conforma por 2 coeficientes de perdida, está relacionada con la derivación del ramal en la tubería y la reducción entre los diámetros, cabe mencionar las pérdidas generadas en la reducción se determinan mediante la **Figura 5**, para evitar el incremento en las pérdidas de presión, se determina implementar reducción con 5 grados de ente el diámetro mayor y el diámetro menor. Las campanas de captación son unos de los accesorios más importantes en el sistemas son las que permiten abarcar un mayor área de las partículas para así mismo lograr la captación del material particulado por lo tanto se tienen coeficientes de captación como se muestra en la **Figura 6**, el Angulo de apertura de la campanas está entre $(20^{\circ}-80^{\circ})$ se realiza un coeficiente de perdida promedio de 0.18 el cual está entre los más bajos para así evitar el aumento en pérdidas de presión.

En la **Tabla 8** se tiene la sumatoria de los coeficientes en codos, reducción y uniones que se utilizaran en los cálculos del sistema de succión.

4.10 Perdidas de presión generadas a través de los ductos

En el cálculo de las pérdidas de presión generadas a través del sistema se puede definir como la perdida de caudal a lo largo de los ductos, la presión es importante ya que esta nos permite transportar el caudal que se requiere en el sistema.

En la realización de un sistema de succión de aire se desarrollan cálculos de la presión estática total, para lo cual se utiliza una hoja de cálculo con el fin de facilitar los cálculos.

La **Tabla 9** se desarrollan todas las ecuaciones necesarias en el desarrollo del cálculo de la presión total, se realiza una tabla dinámica que facilita el ingreso de datos y ahorrando tiempo en las iteraciones del proceso.

En la **Tabla 10** hasta la **Tabla 13** se tienen datos de ingreso que son caudal, diámetro adoptado, factor de corrección, longitud, sumatoria de coeficientes de pérdidas, factor de pérdidas por entrada(campanas), los datos tienen como distintivo que la letra está de color rojo.

Los caudales ingresados son los caudales previamente definidos con en la **Tabla 7** juntos con las velocidades en la campana, las longitudes se definen mediante la **Figura 20** y a través de esquemas generados en AutoCAD, la sumatoria de coeficientes se define mediante la **Tabla 8** donde se definieron el número de accesorios a tener en cuenta en el sistema, el factor de corrección se encuentra mediante la **Figura 2**, para acero galvanizado el factor de corrección es 1 para los diferentes diámetros. El factor de pérdida por entrada(campana) se realizó un promedio entre los ángulos obtenidos en la campana y se define en la **Tabla 8**.

La presión estática total es la sumatoria de las pérdidas generadas por fricción, por accesorios y por entradas. Estas mismas pérdidas son las pérdidas mayores y menores, las pérdidas van en relación de la presión estática y dinámica.

Tabla 9 Cálculo de presión estática total

<i>identificación de los tramos</i>			
<i>Caudal que circula por el ramal conectado a la campana</i>	Q	$Q = v * A$	m ³ /s
<i>Velocidad de diseño</i>	V _d		m/s
<i>Cálculo del diámetro del conducto circular</i>	D	$\sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v_d}}$	mm

<i>Diámetro adoptado</i>	<i>D adoptado</i>		<i>mm</i>
<i>Velocidad real</i>	<i>Vr</i>	$\frac{4 * Q}{\pi * D^2}$	<i>m/s</i>
<i>Longitud</i>	<i>L</i>		<i>m</i>
<i>Pérdida debida a la fricción por unidad de longitud</i>	<i>j</i>	$\frac{5.38 * vr^{1.9}}{D^{1.2}}$	<i>mmcda/m</i>
<i>Factor de corrección (1 si es galvanizado)</i>	<i>fc</i>	<i>Figura 2</i>	<i>adimensional</i>
<i>Fricción por unidad de longitud</i>	<i>FR</i>	$fc * j$	<i>mmcda/m</i>
<i>Pérdidas por fricción</i>	<i>h1</i>	$FR * l$	<i>mmcda</i>
<i>Sumatoria de los coeficientes k</i>	Σk	<i>Tabla 8</i>	<i>adimensional</i>
<i>Altura dinámica correspondiente a la velocidad real en el ramal</i>	<i>h D</i>	$\frac{vr^2}{16.35}$	<i>mmcda</i>
<i>Pérdidas por accesorios</i>	<i>h 2</i>	$\Sigma k * hD$	<i>mmcda</i>
<i>Factor de pérdidas por entrada</i>	<i>k ent</i>	<i>Figura 6</i>	<i>adimensional</i>
<i>Pérdidas por entrada en la campana</i>	<i>h ent</i>	$\Sigma k_{ent} \times hD$	<i>mmcda</i>
<i>Pérdidas por entrada</i>	<i>h 3</i>	$h_{ent} + hD$	<i>mmcda</i>
<i>Pérdida total ramales</i>	Σh	$h1 + h2 + h3$	<i>mmcda</i>

Unas de las consideraciones que se realiza es optar por un diámetro de 120 mm en los tramos iniciales de los puntos de captación del 1 al 16 asegurando una velocidad captación mínima de 15 m/s, los diámetros adoptados están relacionados con los diámetros calculados y se realiza la selección en base a diámetros comerciales los cuales varían cada 10 mm y no se realiza aproximaciones para cumplir con las condiciones de velocidad mínima en los ductos de 15 m/s.

Tabla 10 Presión total en puntos 1-2-3-4-5

1	2	AB	3	BC	4	5
0.170	0.170	0.340	0.170	0.510	0.170	0.220
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
120.12	120.12	164.88	120.12	208.06	120.12	136.65
120	120	160	120	200	120	120
15.03	15.03	16.91	15.03	16.23	15.03	19.45
6.0	0.5	0.8	4.2	4.0	1.0	1.5
2.69	2.69	2.37	2.69	1.67	2.69	4.40
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2.69	2.69	2.37	2.69	1.67	2.69	4.40
16.17	1.35	1.90	11.32	6.69	2.69	6.60
0.39	0.18	0.05	1.35	0.05	1.17	0.57
13.82	13.82	17.49	13.82	16.12	13.82	23.14
5.39	2.49	0.87	18.66	0.81	16.17	13.19
0.18	0.18		0.18		0.18	0.18
2.49	2.49	0.00	2.49	0.00	2.49	4.17
16.31	16.31	17.49	16.31	16.12	16.31	27.31
37.86	20.14	20.26	46.28	23.61	35.17	47.10

En la **Tabla 9** se muestran las unidades de la **Tabla 10** hasta la **Tabla 13**

Tabla 11 Presión total en puntos 6-7-8-9

2A	CD	6	7	2B	DE	8	EF	9
0.390	0.900	0.170	0.220	0.390	1.290	0.170	1.460	0.170
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
166.95	266.39	120.12	136.65	166.95	315.91	120.12	337.03	120.12
160	260	120	120	160	310	120	330	120
19.40	16.95	15.03	19.45	19.40	17.09	15.03	17.07	15.03
2.5	3.0	0.5	1.5	2.0	5.5	3.5	6.0	0.6
3.08	1.32	2.69	4.40	3.08	1.08	2.69	1.00	2.69
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3.08	1.32	2.69	4.40	3.08	1.08	2.69	1.00	2.69
7.70	3.95	1.35	6.60	6.16	5.94	9.43	5.99	1.62
0.62	0.05	1.17	0.57	0.23	0.05	1.74	0.05	0.78
23.01	17.57	13.82	23.14	23.01	17.87	13.82	17.82	13.82
14.27	0.88	16.17	13.19	5.29	0.89	24.04	0.89	10.78
		0.18	0.18			0.18		0.18
0.00	0.00	2.49	4.17	0.00	0.00	2.49	0.00	2.49
23.01	17.57	16.31	27.31	23.01	17.87	16.31	17.82	16.31
44.98	22.41	33.82	47.10	34.46	24.70	49.78	24.71	28.70

Tabla 12 Presión total en puntos 10-11-12-13-14

10	2C	FG	11	12	2D	GH	13	14
0.170	0.340	1.800	0.220	0.170	0.390	2.190	0.220	0.170
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
120.12	167.88	385.88	136.65	120.12	181.95	418.26	136.65	120.12
120	160	380	120	120	160	410	120	120
15.03	16.91	15.87	19.45	15.03	19.40	16.59	19.45	15.03
1.2	3.5	0.7	0.5	1.4	0.9	4.6	1.0	0.8
2.69	2.37	0.73	4.40	2.69	3.08	0.73	4.40	2.69
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2.69	2.37	0.73	4.40	2.69	3.08	0.73	4.40	2.69
3.23	8.30	0.51	2.20	3.77	2.77	3.34	4.40	2.16
1.35	0.96	0.05	0.39	1.56	0.83	1.61	1.35	0.78
13.82	17.49	15.41	23.14	13.82	23.01	16.83	23.14	13.82
18.66	16.79	0.77	9.03	21.56	19.10	27.09	31.24	10.78
0.18			0.18	0.18			0.18	0.18
2.49	0.00	0.00	4.17	2.49	0.00	0.00	4.17	2.49
16.31	17.49	15.41	27.31	16.31	23.01	16.83	27.31	16.31
38.20	42.58	16.69	38.53	41.64	44.88	47.26	62.95	29.24

Tabla 13 Presión total en puntos 15-16

4A	15	3A	16	2E	HI	IJ	JK
0.390	0.170	0.560	0.220	0.780	2.970	2.97	2.97
15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	12.00	12.00
181.95	120.12	218.02	136.65	257.31	487.10	561.36	561.36
180	120	210	120	240	480	560.00	560.00
15.33	15.03	16.17	19.45	17.24	16.41	12.06	12.06
0.6	0.5	1.8	3.5	1.6	1.5	4.0	3.0
1.70	2.69	1.56	4.40	1.50	0.59	0.27	0.27
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.70	2.69	1.56	4.40	1.50	0.59	0.27	0.27
1.02	1.35	2.81	15.39	2.40	0.88	1.08	0.81
0.05	0.96	0.44	2.13	0.49	0.44	0.49	0.78
14.37	13.82	15.99	23.14	18.18	16.48	8.89	8.89
0.72	13.27	7.03	49.29	8.91	7.25	4.36	6.94
	0.18		0.18				
0.00	2.49	0.00	4.17	0.00	0.00	0.00	0.00
14.37	16.31	15.99	27.31	18.18	16.48	8.89	8.89
16.11	30.92	25.84	92.00	29.49	24.61	14.33	16.64

En desarrollo de las pérdidas de presión se lleva cabo desde la **Tabla 10** hasta la **Tabla 13** en las cuales se realiza el ingreso de los datos y se resalta la presión estática en cada uno de los tramos Las pérdidas de presión en sistemas de ductos están en paralelo la presión estática total debe de ser la misma en todos los puntos, y en sistemas de succión que están en serie las pérdidas de presión se suman.

En la **Tabla 14** se tienen las pérdidas de presión sin equilibrio donde se obtienen los datos de caudal, velocidad, diámetros y pérdidas de presión total en los tramos.

Tabla 14 Sistema de succión con pérdidas de presión sin equilibrio

	Q	Adaptado	Vr	L	Σh
	m ³ /s	mm	m/s	m	mmcda
1	0.170	120	15.03	6.0	37.86
2	0.170	120	15.03	0.5	20.14
AB	0.340	160	16.91	0.8	20.26
3	0.170	120	15.03	4.2	46.28
BC	0.510	200	16.23	4.0	23.61
4	0.170	120	15.03	1.0	35.17
5	0.220	120	19.45	1.5	47.10
2A	0.390	160	19.40	2.5	44.98
CD	0.900	260	16.95	3.0	22.41
6	0.170	120	15.03	0.5	33.82
7	0.220	120	19.45	1.5	47.10
2B	0.390	160	19.40	2.0	34.46
DE	1.290	310	17.09	5.5	24.70
8	0.170	120	15.03	3.5	49.78
EF	1.460	330	17.07	6.0	24.71
9	0.170	120	15.03	0.6	28.70
10	0.170	120	15.03	1.2	38.20
2C	0.340	160	16.91	3.5	42.58
FG	1.800	400	14.32	0.7	13.57
11	0.220	120	19.45	0.5	38.53
12	0.170	120	15.03	1.4	41.64
2D	0.390	160	19.40	0.9	44.88
GH	2.190	410	16.59	4.6	47.26
13	0.220	120	19.45	1.0	62.95
14	0.170	120	15.03	0.8	29.24
4A	0.390	180	15.33	0.6	16.11
15	0.170	120	15.03	0.5	30.92
3A	0.560	210	16.17	1.8	25.84
16	0.220	120	19.45	3.5	92.00
2E	0.780	240	17.24	1.6	29.49
HI	2.970	480	16.41	1.5	24.61
IJ	2.97	560	12.06	4.0	14.33
JK	2.97	560	12.06	3.0	16.64

En la **Tabla 14** se resaltan los diámetros dando un panorama de las dimensiones en el sistema de ductos, un aspecto muy importante a tener en cuenta es la

velocidad de transporte y este cumple con el parámetro de **15 m/s** permitiendo así que el material particulado no quede sedimentado en los ductos.

En la **Tabla 15** se tiene la sumatoria de las pérdidas de presión estática en cada uno de los puntos de captación, se realiza el seguimiento en los tramos de ductos que presentan mayor pérdida de presión en este caso es el punto 1, siendo uno de los puntos que se encuentra más alejados del ventilador, se realiza una diferencia entre cada uno de los puntos con respecto al punto 1, para determinar el porcentaje de diferencia y de error en todos los puntos de captación.

Para determinar el porcentaje de diferencia se utiliza la **Ec. (11)**

$$\%error = \frac{|P_{e\text{ mayor}} - P_{e\text{ cada punto}}|}{P_{e\text{ mayor}}} * 100 \quad (11)$$

Tabla 15 Perdidas de presión en los puntos de captación

	mmcda	mmcda	%
1+AB+BC+CD+DE+EF+FG+GH+HI	242.11	Diferencia	porcentaje
2+AB+BC+CD+DE+EF+FG+GH+HI	224.39	17.72	7.3
3+BC+CD+DE+EF+FG+GH+HI	230.26	11.85	4.9
4+2A+CD+DE+EF+FG+GH+HI	240.52	1.59	0.7
5+2A+CD+DE+EF+FG+GH+HI	237.45	4.66	1.9
6+3A+2B+DE+EF+FG+GH+HI	206.25	35.86	14.8
7+2B+DE+EF+FG+GH+HI	219.52	22.59	9.3
8+EF+FG+GH+HI	163.04	79.07	32.7
9+2C+FG+GH+HI	159.84	82.27	34.0
10+2C+FG+GH+HI	169.34	72.77	30.1
11+2D+GH+HI	155.28	86.83	35.9
12+2D+GH+HI	158.39	83.72	34.6
13+5A+4A+3B+2E+HI	158.99	83.12	34.3
14+5A+4A+3B+2E+HI	125.28	116.83	48.3
15+4A+3B+2E+HI	110.86	131.25	54.2
16+2E+HI	146.09	96.02	39.7

Para realizar un equilibrio de presiones estáticas en el sistema se deben utilizar las siguientes ecuaciones.

$$D' = D \left(\frac{\sum h}{\sum h'} \right)^{\left(\frac{1}{4.5} \right)} \quad (12)$$

$$Q' = Q \sqrt{\frac{\sum h'}{\sum h}} \quad (13)$$

Donde:

D' =Diámetro nuevo(corregido) [m]

Q' =Caudal nuevo(corregido) [m³/s]

$\sum h'$ = sumatoria de perdida adoptada [mmcda]

$\sum h$ =sumatoria de perdida [mmcda]

Se utilizan las ecuaciones **Ec.(12)** y **(13)** para corregir las pérdidas de presión para igualar en todos los puntos y se utiliza el incremento de caudales y variación del diámetro en los ductos a partir de las siguientes condiciones.

Consideraciones

- Los diámetros que llegan a la campana no deben ser menor a 120 mm, debido a esto se realiza el incremento en los caudales.
- La velocidad en todo el sistema de succión no debe decaer de los 15 m/s.
- Cuando el porcentaje de error supere el 5% se considera que esta en desequilibrio y se debe modificar el caudal o diámetro.
- El sistema se considera en equilibrio cuando el porcentaje de error es menor al 5%.

En la **Tabla 16** se muestra el caudal, diámetro adoptado, velocidades, longitud y la presión estática en todos los tramos del sistema, Las pérdidas de presión generadas en los puntos (1-2, 4-5, 6-7, 9-10, 11-12, 13-14) deben ser iguales para poder equilibrar el sistema. Se realiza un equilibrio de pérdidas de presión con la variación

de caudales y diámetros donde se resaltan las velocidades mayores a 22,5 m/s la cual se implementan en un diseño para polvos pesados y húmedos como se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 16 Sistema de succión con pérdidas de presión equilibrado

	Q	Dadoptado	Vr	L	Σh
	m ³ /s	mm	m/s	m	mmcda
1	0.170	120	15.03	6.0	37.86
2	0.233	120	20.63	0.5	37.85
AB	0.403	160	20.06	0.8	28.46
3	0.204	120	18.04	4.2	66.35
BC	0.607	200	19.33	4.0	33.32
4	0.199	120	17.60	1.0	48.18
5	0.222	120	19.66	1.5	48.12
2A	0.422	160	20.96	2.5	52.47
CD	1.029	260	19.38	3.0	29.21
6	0.245	120	21.65	0.5	70.03
7	0.269	120	23.76	1.5	70.06
2B	0.514	160	25.54	2.0	59.46
DE	1.542	310	20.43	5.5	35.16
8	0.311	120	27.49	3.5	164.65
EF	1.853	330	21.67	6.0	39.58
9	0.300	120	26.51	0.6	88.99
10	0.260	120	22.98	1.2	88.96
2C	0.560	160	27.84	3.5	114.30
FG	2.413	400	19.20	0.7	24.37
11	0.367	120	32.46	0.5	106.98
12	0.273	120	24.15	1.4	107.00
2D	0.640	160	31.84	0.9	120.58
GH	3.053	410	23.13	4.6	91.64
13	0.290	120	25.62	1.0	109.02
14	0.329	120	29.09	0.8	109.00
4A	0.619	180	24.32	0.6	40.43
15	0.374	120	33.10	0.5	149.48
3A	0.993	210	28.68	1.8	80.78
16	0.349	120	30.89	3.5	230.29
2E	1.343	240	29.68	1.6	87.01
HI	4.396	480	24.29	1.5	53.82

En la **Tabla 17** se tiene la sumatoria de las pérdidas de presión en cada uno de los puntos de captación, donde se observa la diferencia entre las pérdidas y los porcentajes de error menores al 5% destacando un sistema en equilibrio.

Tabla 17 Perdidas de presión en puntos de captación equilibrados

Tramos de ductos	mmcda	mmcda	%
1+AB+BC+CD+DE+EF+FG+GH+HI+1	373.43	Diferencia	Porcentaje
2+AB+BC+CD+DE+EF+FG+GH+HI+2	373.42	0.01	0.0
3+BC+CD+DE+EF+FG+GH+HI+3	373.45	-0.02	0.0
4+2A+CD+DE+EF+FG+GH+HI+4	374.43	-1.00	-0.3
5+2A+CD+DE+EF+FG+GH+HI+5	374.37	-0.94	-0.3
6+3A+2B+DE+EF+FG+GH+HI+6	374.06	-0.63	-0.2
7+2B+DE+EF+FG+GH+HI+7	374.09	-0.66	-0.2
8+EF+FG+GH+HI+8	374.06	-0.64	-0.2
9+2C+FG+GH+HI+9	373.13	0.30	0.1
10+2C+FG+GH+HI+10	373.10	0.33	0.1
11+2D+GH+HI+11	373.03	0.39	0.1
12+2D+GH+HI+12	373.05	0.38	0.1
13+5A+4A+3B+2E+HI+13	371.07	2.36	0.6
14+5A+4A+3B+2E+HI+14	371.05	2.38	0.6
15+4A+3B+2E+HI+15	371.09	2.34	0.6
16+2E+HI+16	371.12	2.31	0.6

Tabla 18 Comparación de sistemas

	Cauda (m^3/s)	Presión (mmcda)
Sistema sin equilibrio	2.97	242.11
Sistema en equilibrio	4.4	371.12

Los datos obtenidos en la

Tabla 18, de caudales y presiones son del sistema de ductos sin incluir separador ciclónico y filtros de magas.

$$\%error = \frac{|valor_{menor} - valor_{mayor}|}{valor_{menor}} * 100 \quad (14)$$

La **Ec.(14)** se utiliza para determinar el porcentaje de incremento del sistema en equilibrio con respecto a un sistema sin equilibrio.

Caudal

$$\%incremento = \frac{|2.97 - 4.4|}{2.77} * 100 = 0.51\%$$

Presión

$$\%incremento = \frac{|242.11 - 371.12|}{221.61} * 100 = 0,58\%$$

En un sistema en equilibrio los valores del caudal y presión van incrementando proporcionalmente, una manera de equilibrar el sistema es mediante compuertas que permiten regular el caudal y sea homogéneo.

4.11 Cálculo de dimensiones de separador ciclónico

Se requiere el caudal que pasara a través del separador ciclónico para así mismo calcular las dimensiones de este mismo el caudal se obtiene de la **Tabla 20**, 2.97 m³/s además a este caudal se le incrementa un factor de seguridad de 1.25 para así obtener un caudal de trabajo de **3.7 m³/s**.

Se requiere de un modelo de separador ciclónico con baja caída de presión, baja altura y alta eficiencia esto lo ofrece el Ciclón **Petherson-whitby** [15].

En la **Figura 21** se observan las medidas características de los separadores ciclónicos.

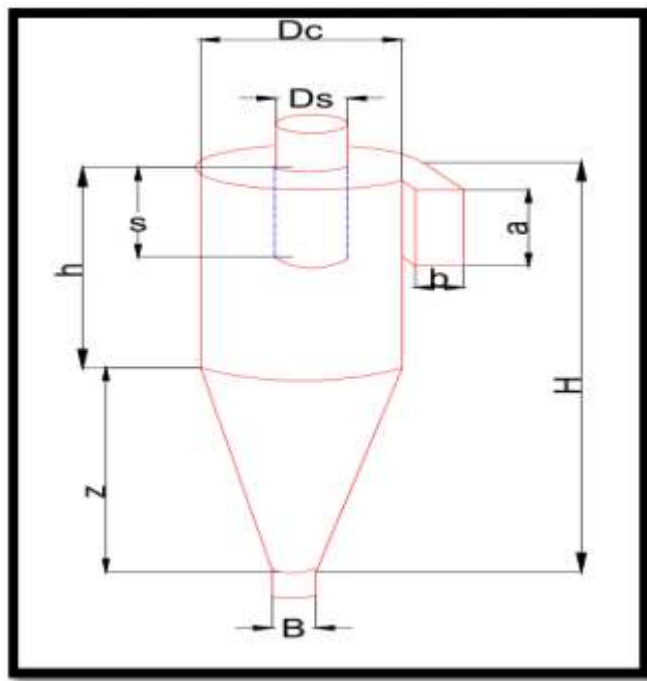


Figura 21 Dimensiones separador ciclónico Fuente:[39]

En la **Tabla 19** se aprecia las dimensiones del modelo del ciclón Petherson-Whitby, se escoge este modelo dado que su altura es baja en comparación a los modelos de ciclones convencionales, esto debido a las dimensiones reducidas del lugar donde se realizará la instalación de este mismo.

Tabla 19 Dimensiones Petherson Whitby

Dimensiones de separador ciclonico		
Diámetro ciclón	DC	1
Altura de entrada	a	0.583
Ancho de entrada	b	0.208
Altura de salida	s	0.583
Diámetro de salida	Ds	0.5
Altura parte cilíndrica	h	1.3333
Altura parte cónica	z	1.83
Altura total del ciclón	H	3.17
Diámetro salida partículas	B	0.25

La **Tabla 20** muestra el desarrollo de las medidas del separador ciclónico en base al modelo presentado por **Petherson-Whitby**, presenta una eficiencia del 60% - 95% en partículas PM 10, y una eficiencia de 20% a 70% en partículas PM 2.5.

Tabla 20 Medidas del separador ciclónico

Cálculo de dimensiones del ciclón			
Caudal		Q	3.7[m³/s]
Velocidad entrada		v	15[m/s]
Área		$A = Q/v$	0.227[m²]
DC		$DC = \sqrt{\frac{A}{a \times b}}$	1.4[m]
Diámetro ciclón	DC	DC = 1xDC	1.4 [m]
Altura de entrada	a	$a = 0.583xDC$	0.8 [m]
Ancho de entrada	b	$b = 0.208xDC$	0.3 [m]
Altura de salida	s	$s = 0.583xDC$	0.8 [m]
Diámetro de salida	Ds	$Ds = 0.5xDC$	0.7 [m]
Altura parte cilíndrica	h	$h = 1.333xDC$	1.8 [m]
Altura parte cónica	z	$z = 1.837xDC$	2.5 [m]
Altura total del ciclón	H	$H = 3.17xDC$	4.3 [m]
Diámetro salida partículas	B	$B = 0.25xDC$	0.3 [m]
Número de cabezas de velocidad	Nh		7.76

En la **Figura 22** se presenta un modelo 3D con las medidas respectivas del separador ciclónico, una representación gráfica ayuda a comprender mejor las dimensiones del separador ciclónico.

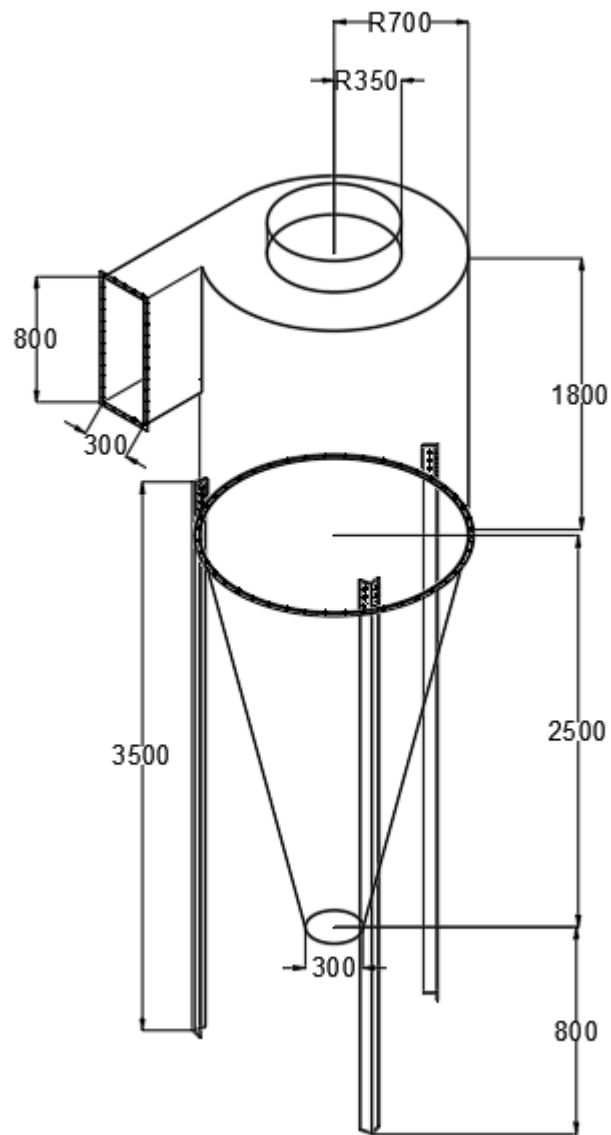


Figura 22 Modelo 3D de separador ciclónico

Los planos detallados se observan en el **ANEXO 2**

4.11.1 Cálculo de pérdidas de presión en separador ciclónico

Las condiciones de trabajo del aire son de **30°C** con una densidad de **1.164 kg/m³**, la velocidad de entrada y el número de Cabezas de velocidad (Nh) se encuentran en la **Tabla 20** , se calcula la caída de presión mediante **Ec. (15)**

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho \times v_i^2 \times N_h \quad (15)$$

Donde:

ΔP : Caída de presión [Pa]

ρ : Densidad del aire [Kg/m³]

v_i : Velocidad de entrada al ciclón [m/s]

N_h : Número de cabezas de velocidad. [adimensional]

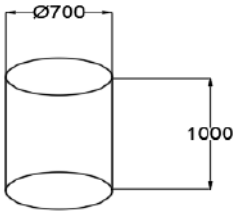
$$\Delta P = \frac{1}{2} (1.164) \times (15)^2 \times (7.76) = 1016.172 \text{ Pa}$$

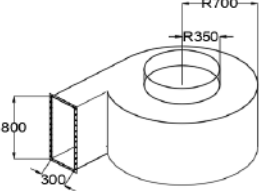
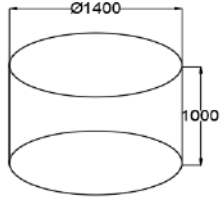
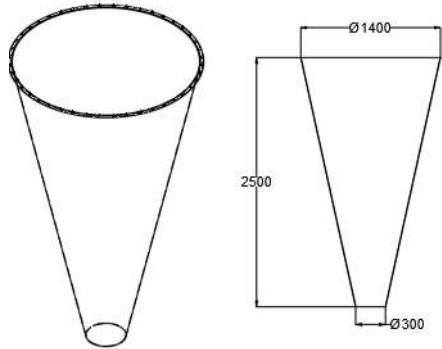
Se requiere que las unidades estén en milímetros columna de agua (mmcda) para esto es necesario realizar la conversión, un mmcda equivale a 9.8 Pa.

$$1016.172 \text{ pa} \times \frac{1 \text{ mmcda}}{9.8 \text{ pa}} = 103.7 \text{ mmcda}$$

4.11.2 análisis de diseño de separador ciclónico

Tabla 21 Peso a tener en cuenta en la estructura del separador ciclónico

Sección de ciclón (mm)	Área (m ²)	Volumen (m ³)
	2.19	-

	5.27	-
	4.4	1.53
	6.88	1.62
TOTAL	18.74	3.15

En la fabricación del separador ciclónico, se tienen consideraciones como geometría, tipo de material, la densidad del material particulado, se desarrolla la **Tabla 21** para determinar las áreas y volúmenes de las diferentes secciones del separador ciclónico, el material a implementar es acero laminado en frío 1020 en láminas de calibre 16 con una densidad de 12.21 kg/m^3 debido a su alta resistencia y ductilidad, las densidades y pesos de las láminas se encuentran en el **ANEXO 3**.

Se determina la densidad del material particulado a través de muestras tomadas en el área de trabajo donde se obtiene un valor de ($\rho=400 \text{ kg/m}^3$), se determina el peso de la estructura y el peso del material particulado mediante el volumen de las

secciones del ciclón donde es captado, para determinar el peso de operación a la que estará sometido el separador ciclónico

Determinar las dimensiones de los soportes que tendrá la estructura del separador ciclónico mediante parámetros de funcionamiento y peso total, se utilizaran perfiles estructurales en forma de L (Angulo), las propiedades como área y radios de giro se encuentra en el **ANEXO 4**. Mediante el área y el peso de la lámina por metro cuadrado se obtiene el peso de la estructura vacía.

$$\text{Peso de estructura vacía} = 18.74 \text{ m}^2 \times 12.21 \text{ kg/m}^2 = 228 \text{ kg}$$

La sección donde se alojará el material particulado en la sección cónica y la sección cilíndrica a una altura de 1m los volúmenes se indican el **Tabla 21**, mediante los datos mencionados anteriormente se determina el peso del material particulado.

$$\text{Peso del material particulado} = 3.15 \text{ m}^3 \times 400 \text{ kg/m}^3 = 1260 \text{ kg}$$

El peso total se determina mediante la suma del peso de la estructura y el material particulado a esto se incluye un factor seguridad de 1.5.

$$\text{Peso TOTAL de operación} = 228 \text{ kg} + 1260 \text{ kg} = 1488 \text{ kg}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 1488 \text{ kg} \times 1.5 = 2232 \text{ kg}$$

El número de soportes serán de 3 a lo largo del diámetro del ciclón con una separación de 120 grados para una correcta distribución. Mediante la **Ec (16)** se determina la fuerza ejercida en cada uno de los soportes.

$$P = \frac{m * g}{n \text{ soportes}} \quad (16)$$

$$P = \frac{2232 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2}{3} = 7298.64 \text{ N}$$

Donde:

m = masa [kg]

g = gravedad [m/s^2]

P = fuerza [N]

Una columna bajo una carga **P** y el esfuerzo de la sección transversal como indica la **Ec. (17)** es menor al esfuerzo permisible y las deformaciones están dentro del rango especificado, se podría determinar que una columna está bien diseñada, pero al ejercer la carga se pandea esto determina que no está bien diseñada

$$\sigma_{perm} = \frac{P}{A} \quad (17)$$

Donde:

σ_{perm} =esfuerzo permisible [Mpa]

A=área [mm²]

P=fuerza [N]

A la hora de diseñar los soportes estructurales estos presentan un comportamiento en forma de columna y una de las fallas que presentan es el pandeo es de gran importancia en la estabilidad estructural, una variable necesaria en el cálculo del pandeo es la carga critica el cual determina mediante la ecuación de Euler, esta relaciona los esfuerzos ejercidos mediante la **Ec. (18)**, además se determina el esfuerzo de Euler a partir del área y radio de giro

$$\sigma_{cr} = 0.877\sigma_E \quad (18)$$

σ_{cr} =Esfuerzo de critico [Gpa]

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2} \quad (19)$$

Donde:

σ_E =Esfuerzo de Euler [Gpa]

E=Modulo de elasticidad [Gpa]

L/r=relación de esbeltes [adimensional]

El esfuerzo permisible está relacionado con el esfuerzo crítico como se observa en la **Ec. (20)**. donde se le agrega un factor de seguridad al esfuerzo permisible.

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_{cr}}{1.67} [40] \quad (20)$$

El despejar la relación de esbeltes de las ecuaciones **(18)-(19)-(20)** obtenemos como resultado la **Ec.(21)** permitiendo determinar la relación de esbeltes de las columnas y soportes en relación al área.

$$\frac{L}{r} = \sqrt{\frac{1.731 \times 10^{12} \text{ Pa}}{\sigma_{perm}}} \quad (21)$$

La **Ec.(22)** determina la relación de esbeltes con relación al material, σ_Y se considera el esfuerzo de cedencia del material.

$$\frac{L}{r} = 4.71 \sqrt{\frac{E}{\sigma_Y}} \quad (22)$$

$$\frac{L}{r} = 4.71 \sqrt{\frac{200 \times 10^9 \text{ pa}}{250 \times 10^6 \text{ pa}}} = 133.2$$

Los valores obtenidos mediante **Ec.(21)** son mayores a la relación de esbeltes considerada para el material mencionado en la **Ec.(22)** se determina la altura máxima de una columna a los esfuerzos axiales mediante la **Ec.(23)**.

$$\frac{L}{r_y} = \sqrt{\frac{1.731 \times 10^{12} \text{ pa}}{\sigma_{perm}}} \quad (23)$$

Donde:

r_y = menor radio de giro

Se realiza el análisis de esbeltes para un perfil en forma de L (ANGULO) las dimensiones son de 76x76x9.5 mm tiene un área de 1360 mm^2 y un radio de giro de 14,8 mm estos datos se encuentran en el **ANEXO 5**.

$$\sigma_{perm} = \frac{7298.64 \text{ N}}{1360 \text{ mm}^2} = 5.36 \text{ Mpa}$$

$$\frac{L}{r} = \sqrt{\frac{1.731 \times 10^{12} \text{ pa}}{6.01}} = 568.28$$

$$\frac{L}{r_Y} = \frac{L}{r} = 568.28 \times 14.8 = 8410 \text{ mm} = 8.4 \text{ m}$$

Mediante las ecuaciones de Euler se obtiene la distancia máxima a la que puede soportar el perfil sin sufrir pandeo en la columna, para complementar el análisis estático, mediante análisis a través de simulaciones que proporciona un mejor análisis de datos.

4.12 Simulación del separador ciclónico

Se realiza un análisis estructural a través de simulaciones con ayuda del programa Solidworks, con la finalidad de estudiar el comportamiento estructural del separador ciclónico y corroborar los datos teóricos anteriormente obtenidos a través de las ecuaciones de Euler en el análisis de los soportes estructurales del ciclón.

Para realizar un análisis estático de los soportes se realiza un modelo 3D el cual permita facilitar el estudio a través de la simulación, utiliza herramientas como miembros estructurales facilitan la creación de perfiles en L conocido como ángulos de dimensiones $76 \times 76 \times 9.5 \text{ mm}$ como se muestra en la **Figura 23** además se observa los puntos que se utilizaron como sujeciones fijas en la parte baja de los soportes.

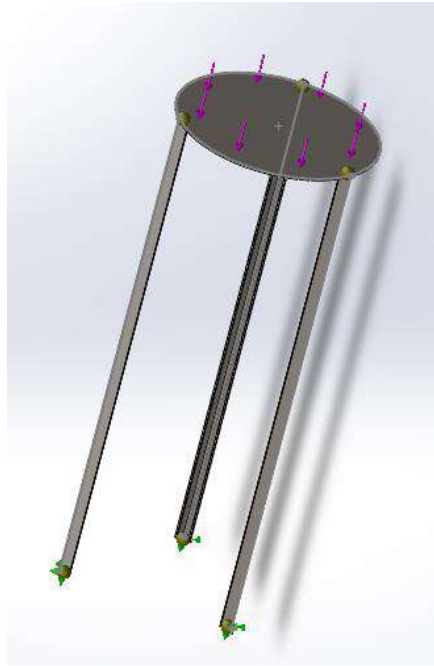


Figura 23 Modelo 3D de soportes de separador ciclónico

En la **Figura 24** se muestra la distribución de la carga a la cual estará sometidos los soportes estructurales, el peso total de la estructura es de 2232 kg lo que equivale a 21874 N.

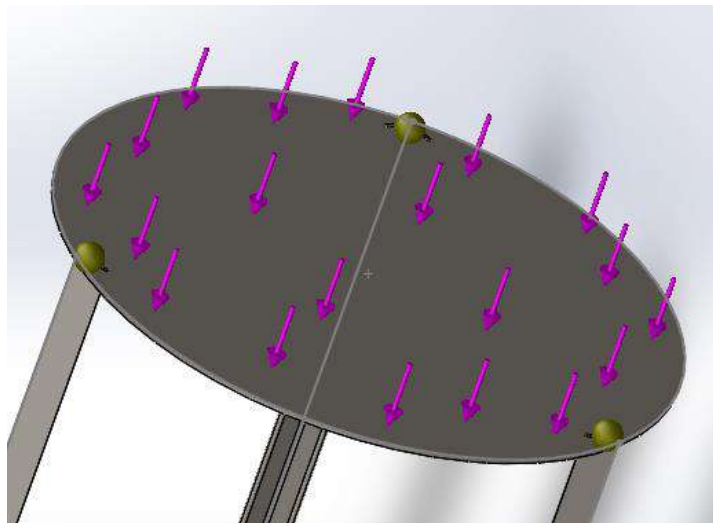


Figura 24 Carga distribuida

Solidworks nos ofrece una amplia librería de materiales con sus propiedades mecánicas en la **Figura 25** muestra la selección de un acero AISI 1020.

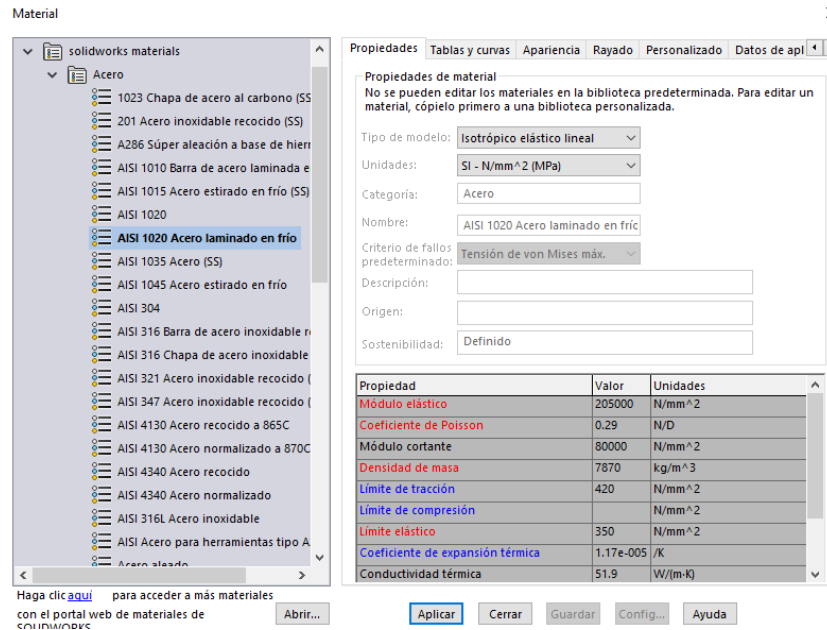


Figura 25 Selección del tipo materiales

Luego de colocar las variables de entrada a las que estará expuesta la estructura en la **Figura 26** se muestra las construcciones de la malla, donde se establece un tipo de malla mixta de curvatura, en los soportes se muestra un mallado diferentes esto es debido a la utilización de miembro estructurales el cual facilita el mallado reduciéndolo en una forma sencilla que facilita el desarrollo de la simulación.

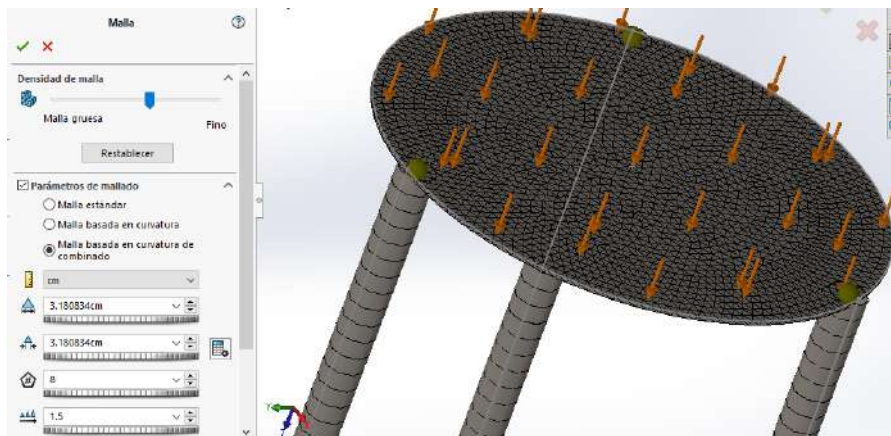
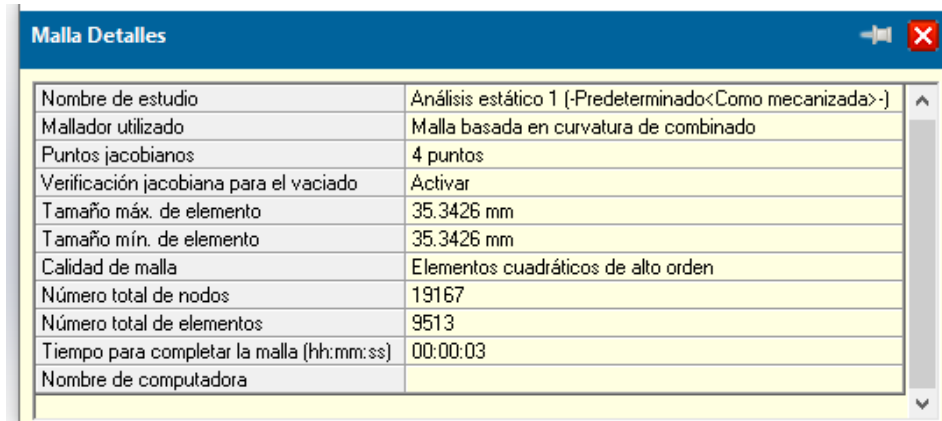


Figura 26 tipos de malla

En la **Figura 27** muestra los detalles de mallado, como el número de puntos jacobianos utilizado, el tamaño máximo y mínimos de los elementos, el número total de nodos y elementos.



Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 1 [-Predeterminado<Como mecanizada>-]
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos	4 puntos
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	35.3426 mm
Tamaño mín. de elemento	35.3426 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	19167
Número total de elementos	9513
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:03
Nombre de computadora	

Figura 27 Detalles de mallado

La **Figura 28** muestra la creación de un modelo 3D que nos permite simular el comportamiento de la estructura en este caso los soportes en ANGULO, se aprecia el desplazamiento máximo y mínimo en los soportes, teniendo presente la escala de colores el pandeo máximo recibido en el soporte es de **7,5** mm estando en un rango aceptable, tomando en cuenta que las fuerzas ejercidas presentan un factor de seguridad para evitar un fallo en la estructura, lo que significa que la simulación muestra los desplazamientos máximos ejercidos en el caso de que el separador ciclónico sea sometido siempre a la carga máxima planteada para el sistema.

En la **Figura 29** se observa un trazado del factor de seguridad en los soportes del separador ciclónico donde el mínimo factor de seguridad es de 1.7 y el máximo es de 4.4, un factor aceptable se considera de 1.3 y valores superiores en dado caso que los valores del factor de seguridad sean menores a 1 significa que la estructura no soportará la carga que se plantea en el diseño teniendo así que redimensionar la estructura.

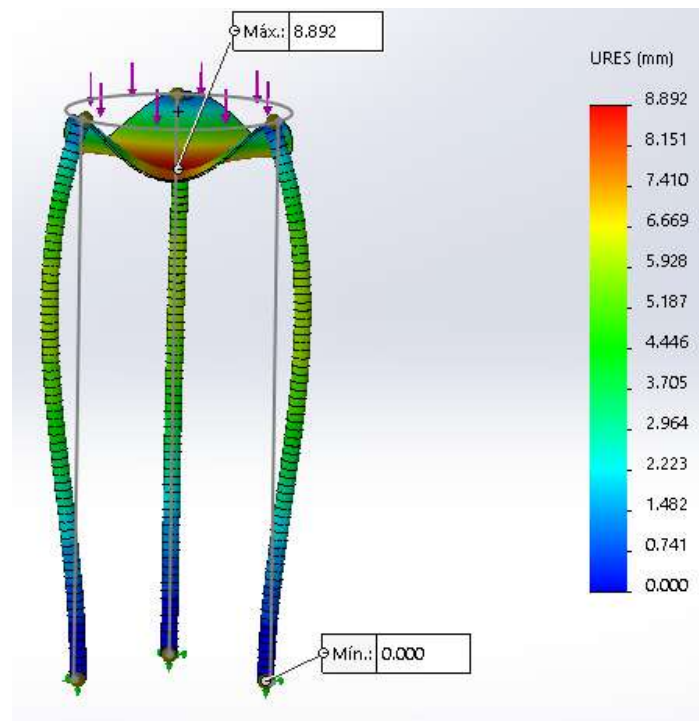


Figura 28 Desplazamiento de pandeo en los soportes del ciclón

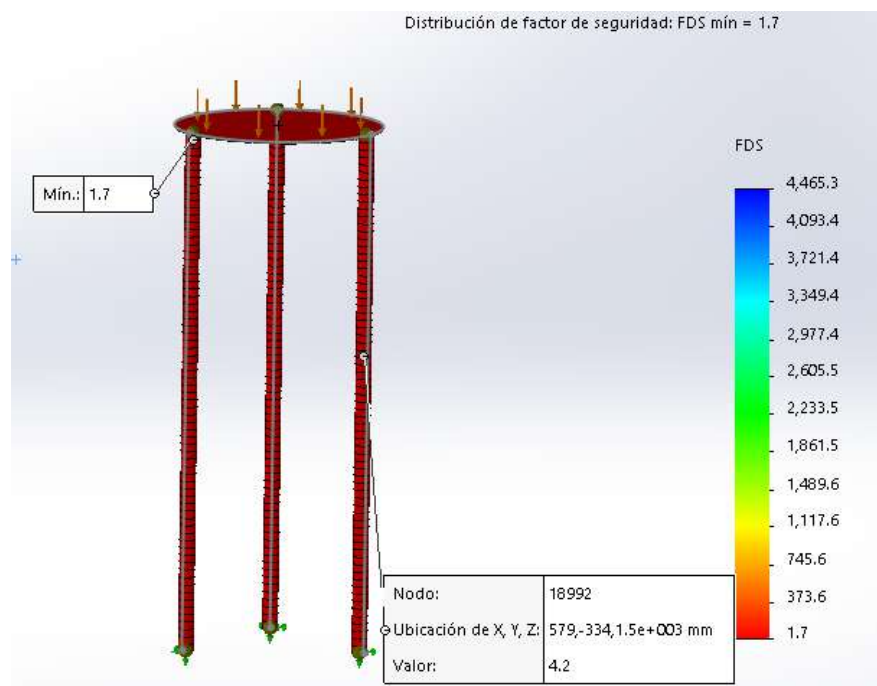


Figura 29 Factor de seguridad en los soportes del ciclón

4.13 Simulación de presión estática en separador ciclónico

Uno de las fuerzas a la que se va a encontrar sometido el separador ciclónico es la presión estática que se genera a través del ventilador y que se distribuye en el sistema de ductos. Para iniciar con la simulación se lleva a cabo la construcción de un modelo 3D del separador ciclónico, a través del programa de Solidworks y la herramienta de simulación se realiza un análisis estático, donde se estudió el comportamiento estructural bajo presión que es generada por el aire.

En la **Figura 30** se muestra las sujeciones de forma fija que se resaltan de color verde, estas sujeciones permiten establecer las partes fijas del separador ciclónicos, y se resalta de color rojo las fuerzas de presión estática, la dirección de las flechas nos indica una presión estática negativa de 4500 Pa.

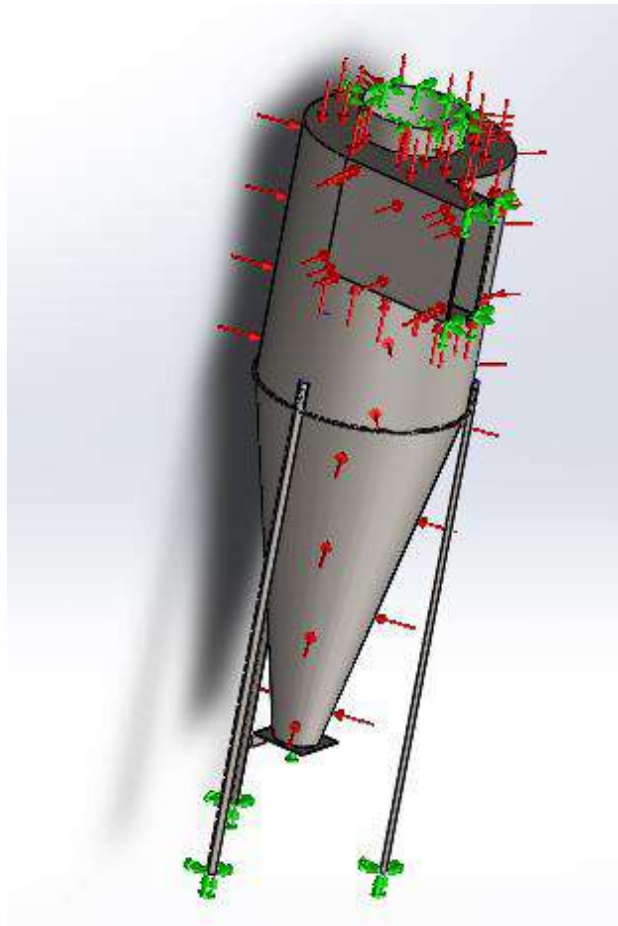


Figura 30 Sujeciones y presión estática

Figura 31 muestra la selección del material, a través de una base de datos y librerías que proporciona solidworks donde se incluye todas las propiedades mecánicas del acero 1020 laminado en frío.

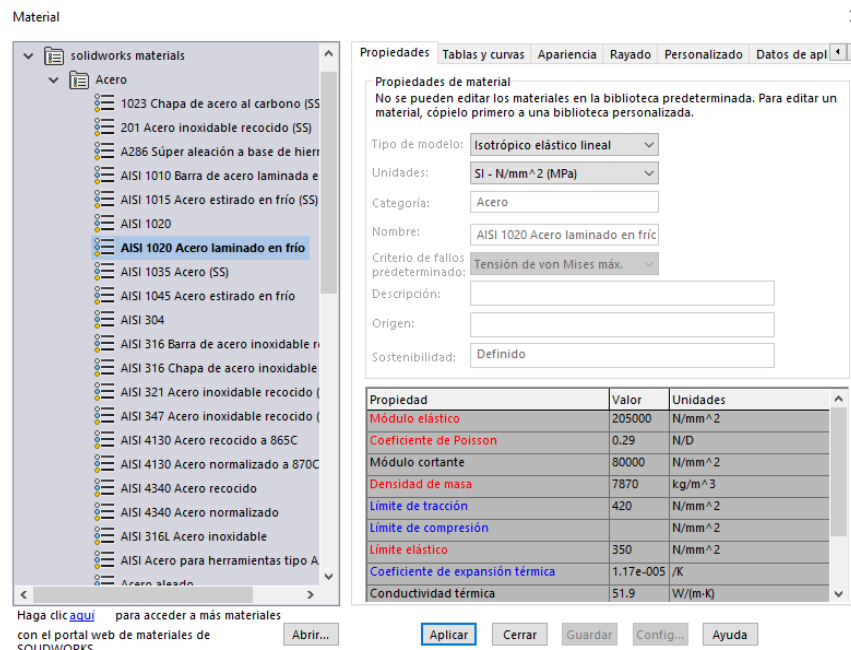


Figura 31 Selección de material de separador ciclónico

Figura 32 se muestra el desarrollo de la malla, se opta por un mallado de tipo mixto y basado en curvatura con una densidad fina, esto debido a que el modelo 3D presenta complejidad a la hora de crear la malla. Se observa la representación de los nodos y los elementos presentes en la malla, las zonas con mayor complejidad presentan una mayor densidad de nodos y elementos pequeños esto con el fin de lograr un mejor modelado.

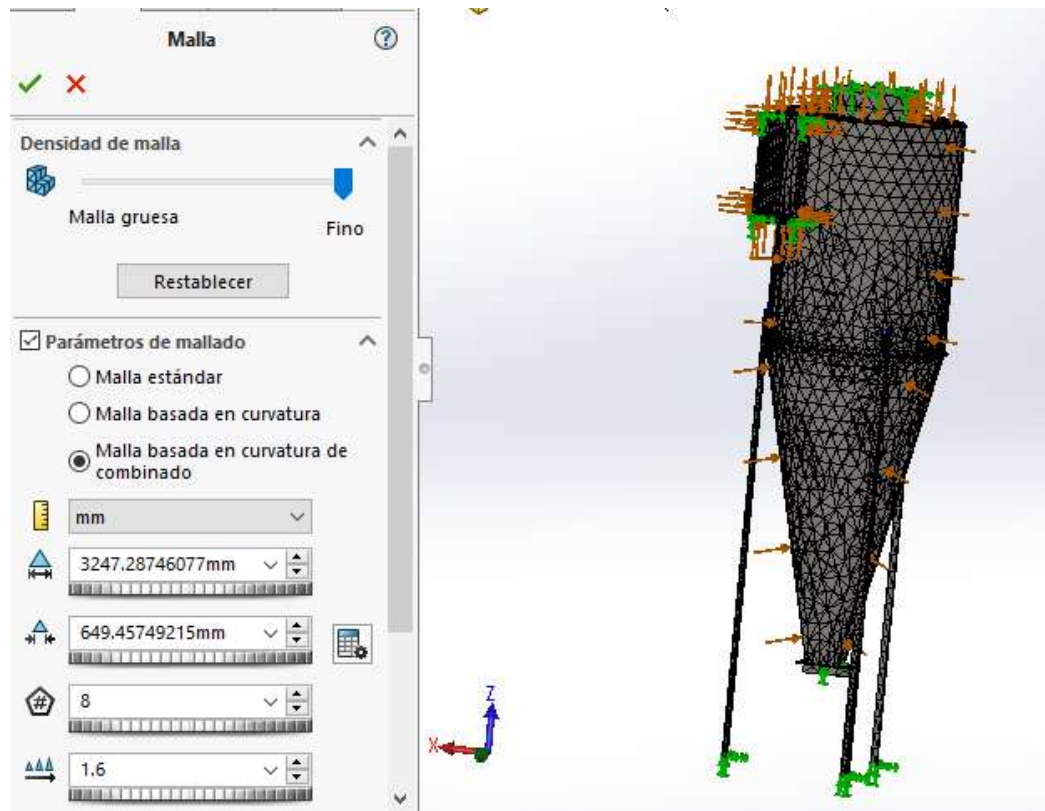


Figura 32 Creación de malla separador ciclónico

Figura 33 se muestra de una manera más detallada los parámetros del tipo de mallado, se observa el tamaño máximo y mínimo de los elementos, así mismo como el número total de los nodos presentes en la malla y el número total de elementos.

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 2 (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño máx. de elemento	3247.29 mm
Tamaño mín. de elemento	649.457 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	37805
Número total de elementos	18540

Figura 33 Detalles de malla

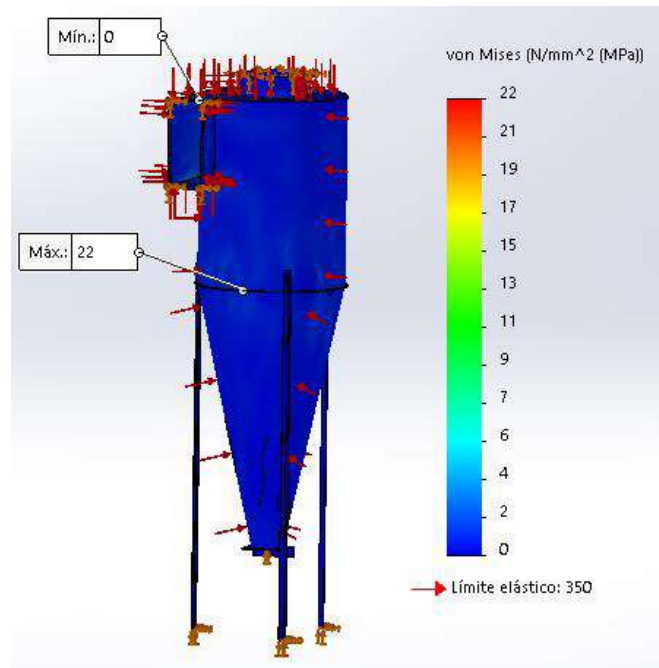


Figura 34 Esfuerzo mediante la presión de trabajo

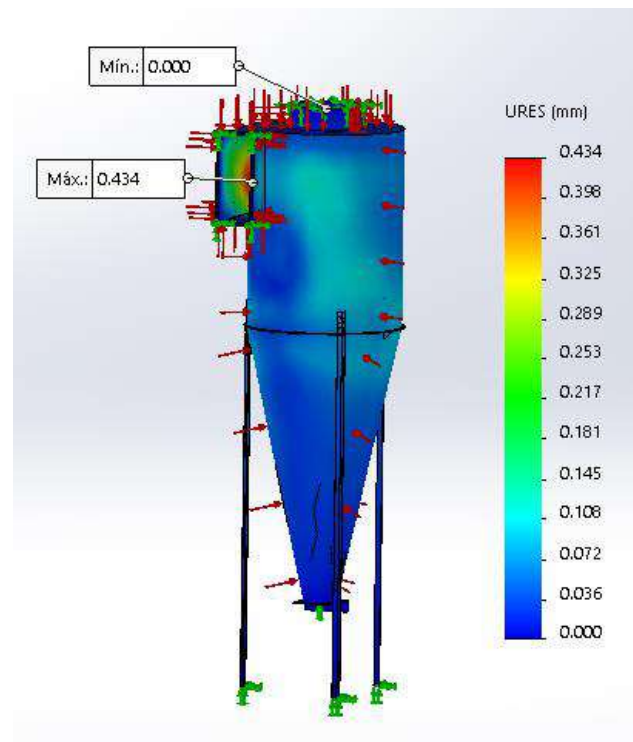


Figura 35 Desplazamiento mediante la presión

Determinar los esfuerzos que se ejercen en el separador mediante simulación, se determina con precisión los esfuerzos máximos y mínimos como se muestra **Figura 34** el valor del máximo esfuerzo es de 22 Mpa siendo un valor aceptable debido a que el acero laminado en frío resiste un esfuerzo de 350 Mpa.

El ventilador ejerce una presión estática negativa en los ductos de aire y el ciclón, ocasionando desplazamiento internamente, en la **Figura 35** se observa los desplazamientos resultantes debido a la presión estática, el mayor desplazamiento que se registra mediante la simulación es de 0.434 mm, analizándose con la **Figura 34** los resultados de la simulación demuestran deformaciones pequeñas, el cual el separador tendrá un comportamiento óptimo ante las fuerzas de presión ejercidas.

4.14 Selección del ventilador

Se requieren 2 parámetros principales para la selección del ventilador, en estos parámetros se encuentra el caudal y presión estática total. El caudal requerido se encuentra mediante la **Tabla 22** donde se obtiene un caudal con un factor de seguridad de 1,25.

Tabla 22 Caudal del ventilador

Caudal Tabla 18	Factor Seguridad	Caudal requerido (m^3/s)
2.97	1.25	3.7

La presión estática total es la suma de las presiones estáticas del punto más alejado y con mayores pérdidas, sumando las pérdidas generadas por el separador ciclónico y se incrementa un factor de seguridad de 1.25, el valor de la presión estática total se refleja en la **Tabla 23**.

Tabla 23 Presión del ventilador

PERDIDAS DE PRESIÓN					
Ramales Tabla 15	Ciclón	Tramo I-J Tabla 14	TOTAL	Factor seguridad	Presión requerida(mmcda)
242.11	103.7	13.52	359.33	1.25	449.16

4.14.1 Modelo de ventilador

Los parámetros más influyentes en la selección de modelo de ventilador son el caudal y presión, previamente calculado estos parámetros se solicita a la empresa **SODECA COLOMBIA** un ventilador cuyas características satisfagan las necesidades del sistema, el modelo seleccionado es: **AH23-S30-A9-40-1441RPM 60HZ**

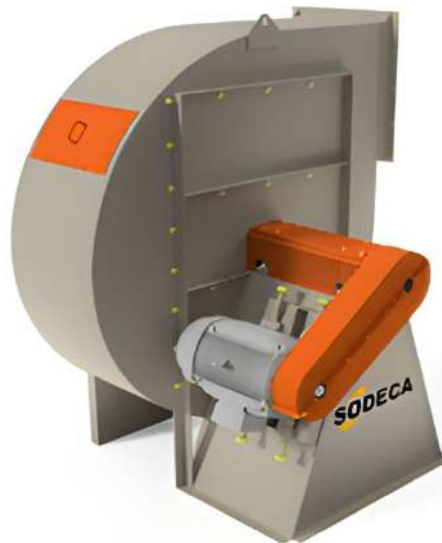


Figura 36 Modelo de ventilador marca SODECA

Figura 36 muestra el modelo del ventilador de media presión accionados a transmisión, equipados con motor eléctrico, conjunto de poleas, correas y protectores normalizados.

Condiciones para tener en cuenta en el funcionamiento son la altura a nivel del mar la densidad del aire y temperatura de trabajo. El ventilador se trabajará en la ciudad de Aguazul Casanare donde se tienen temperaturas promedio de 28°C y está a 300 MSNM con una densidad en el aire de 1.13kg/m³.

Es importante tener en cuenta las curvas características del ventilador para entender su comportamiento del caudal con respecto a la presión estática total, en la **Figura 38** se observa la curva característica del ventilador cuya presión estática tiene como rango estar entre los 4000 y 5000 pascales. Se tiene el comportamiento en relación a la potencia mecánica.

CURVA CARACTERÍSTICA PARA 28°C 300MSNM 1,13KG/M³

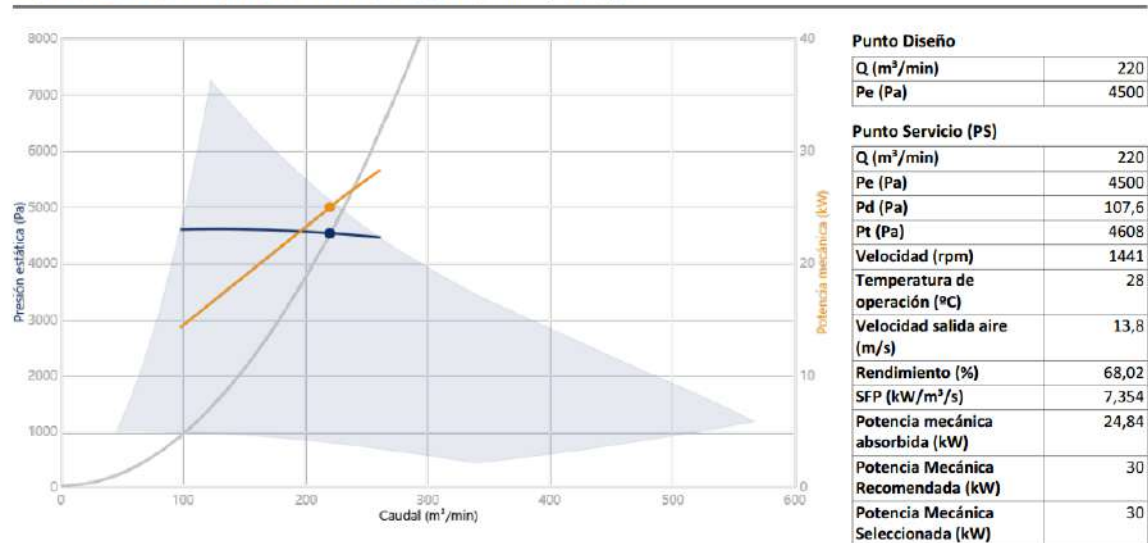


Figura 37 Curva característica del ventilador Fuente: SODECA

Además de haber tenido un factor de seguridad del 1.25 para seleccionar el ventilador, las características del modelo seleccionado tienen unas características máximas que se pueden observar en la imagen **Figura 38** , obteniendo un alto margen de seguridad en cuanto a las características requeridas en el sistema de extracción de polvo, para un buen funcionamiento.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m³/min)	261,1
Velocidad (rpm)	1441
Presión estática máxima (Pa)	4573
Presión total máxima (Pa)	4622

Figura 38 características máximas del modelo de ventilador

Otro aspecto bien importante son las dimensiones del ventilador, así como se muestra en la **Figura 39**, las dimensiones influyen en la creación de conexión del ducto con respecto a la entrada y salida del ventilador los datos del ventilador se reflejan en el **ANEXO 6**.

DIMENSIONES

A	B	C	E	CA	ØD	ØD1	ØD2	H	H1	H2	n1	ØJ	n2
954	770	921	790	487	578	636	686	1891	970	587	12	14	12

ØK	L	L1	X	X1	X2	X3	X4	X5	n3	ØZ	ZA	ZH	Z1
14	1542	1372	1331	318	138	147	267	650	16	14	477	557	590

Z2	Z3	Z3N	Z4	Z5
670	628	157	111	163

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm). Dimensiones dependientes del motor son aproximadas

Peso aprox. (kg)	225
------------------	-----

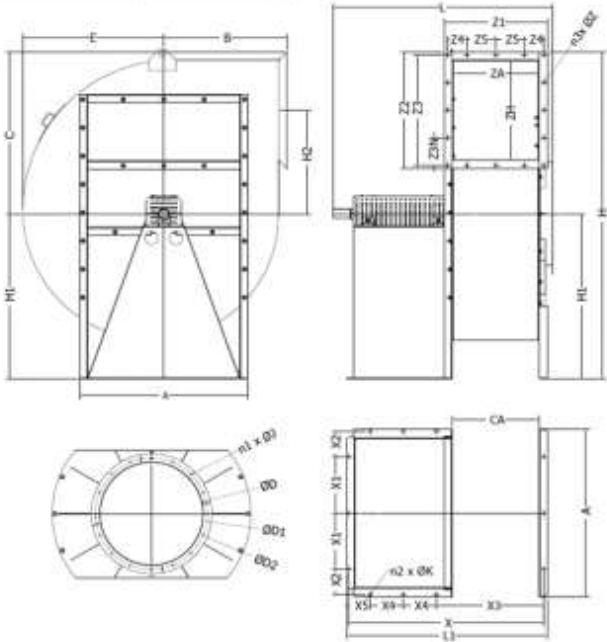


Figura 39 Dimensiones de ventilador SODECA

4.15 Diseño de filtro de mangas

Los parámetros de diseño para un filtro de mangas son la velocidad de filtración, caída de presión, el caudal requerido y eficiencia de colección de partículas. Las dimensiones de los filtros de mangas dependen de la cantidad de mangas esto en relación al caudal requerido. La **Ec.(24)** presenta la relación de la longitud de la manga con respecto al diámetro esto para evitar dificultades en la limpieza debido al tamaño, se opta por unas mangas con una longitud de 2300 mm y 150 mm de diámetro.

$$\frac{Lm}{Dm} \leq 25 \quad (24)$$

Donde:

Lm =longitud de la manga[mm]

Dm =diámetro de la manga[mm]

$$\frac{2300 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} = 15.33$$

4.15.1 Velocidad de filtración

El tipo de limpieza se da en relación aire/tela donde se estable una velocidad de filtración esto se observa mediante la **Tabla 24**. Se selecciona una limpieza mediante pulse jet, dado que este ofrece una limpieza constante y programable.

Tabla 24 Parámetros para el tipo de limpieza Fuente: (Pilamunga Rigchag, 2019)

Tipo de limpieza del colector	Velocidad de filtracion (m/min)
sacudido	0.76-0.91
Aire reverso	0.61-0.76
Pulse-jet	1.52-1.83

La velocidad de filtración se define mediante la **Ec.(25)** como la relación entre el caudal de diseño y el área total de filtración, entre mayor sea el número de mangas aumenta el área de filtración menor será la velocidad de filtración.

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

Donde:

V_f =Velocidad de filtración [m/s]

$\dot{Q}$ =Caudal de diseño [m³/s]

A_T =Área total de filtración [m²]

Para calcular el área total de filtración es necesario escoger el tipo de limpieza como se indica en la **Tabla 24**.

$$A_T = \frac{\dot{Q}}{V_f}$$

$$A_T = \frac{220 \text{ m}^3/\text{min}}{1.52 \text{ m/min}} = 144.73 \text{ m}^2$$

Obtenida el área de filtración se procede a calcular el área de filtración de cada manga con la **(26)** y mediante la **(27)** se determina el número de manga para obtener una velocidad de filtración adecuada para el diseño según el tipo de limpieza.

$$A_F = \pi \times dm \times lm \quad (26)$$

Donde:

A_F = Área de filtración de cada manga [m²]

$$A_F = \pi(0.15\text{m}) \times 2.4\text{m} = 1.13 \text{ m}^2$$

$$\#_{\text{Mangas}} = \frac{A_T}{A_F} \quad (27)$$

$$\#_{\text{Mangas}} = \frac{144.73 \text{ m}^2}{1.13 \text{ m}^2} = 127.96$$

Del valor obtenido en el número de mangas se realiza una aproximación a 130 mangas con una configuración de 10x13 como se muestra en la **Figura 40** con una separación en las columnas de 225mm de centro a centro de la manga y una separación de 233mm entre centros para ocupar un espacio de (2400x3000) mm

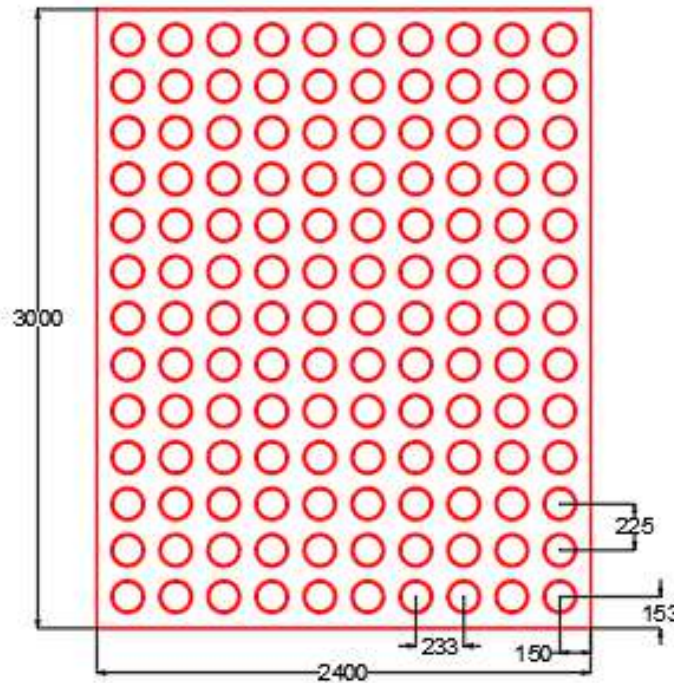


Figura 40 Configuración de mangas

Al tener un arreglo de mangas mayor al calculado anteriormente se procede a calcular la nueva velocidad de filtración con la **Ec.(28)** el cual presenta un valor menor que en el rango mostrado en la **Tabla 24** el cual es un valor aceptable para la limpieza por pulse jet.

$$V_f = \frac{\dot{Q}}{A_f * \#_{Mangas}} \quad (28)$$

$$V_f = \frac{220}{\pi * (0.15) * 2.4 * 130} = 1.49 \text{ m/min} = 4.88 \text{ ft/min}$$

4.15.2 Perdidas de presión de filtro de mangas

La caída de presión generada por las mangas se puede calcular mediante la **Ec.(29)** la cual determina la caída de presión en función del tiempo de filtración, obteniendo el comportamiento de la caída de presión en un colector chorro pulsante [41].

$$\Delta P = 6.08 V_f P_j^{-0.65} + K_2 V_f^2 \left(\frac{C_i}{7000} \right) t \quad (29)$$

Donde:

ΔP =Caída de presión en el filtro de mangas [pulg H₂O]

V_f =Velocidad de filtración [ft/min]

P_j =Presión de chorro pulsante (Psi)

K_2 =Coeficiente de resistencia del polvo [pulg. H₂O/(ft/min)] [lb/ft²]

C_i =Concentración de polvo en la entrada del filtro ([g/ft³])

t = Tiempo de filtración (min)

Según Buchelli Carpio existe gran variedad de valores para el coeficiente de resistencia específico del polvo, se tiene un rango que se utiliza frecuentemente es entre 1 y 10[pulg. H₂O/(ft/min)] [lb/ft²], así mismo se tiene un rango para la concentración del polvo a la entrada al filtro entre 0.05 y 100 g/ft³ [41].

Los valores que se utilizaran con respecto a K_2 será de 10 y para C_i será de 10 g/ft³, se tiene instalado un compresor que proporciona 100 Psi el cual se utilizara para el chorro pulsante y se utilizara un intervalo de tiempo de 10 min para el tiempo de filtración, la velocidad de filtración se determinó el procedimiento especificado anteriormente y su valor es de 4.88 ft/min.

$$\Delta P = 6.08 (4.88)(100)^{-0.65} + (10)(4.88)^2 \left(\frac{10}{7000} \right) (10)$$

$$\Delta P = 1.48 + 3.4 = 4.88 \text{ pulg. H}_2\text{O} = 124 \text{ mm H}_2\text{O} = 1215.2 \text{ Pa}$$

4.15.3 Determinación del tamaño del tanque

Los sistemas pulse jet trabajan mediante válvulas solenoides las cuales reciben una señal mediante la presión permitiendo la descarga de las válvulas para permitir el paso de aire hacia los inyectores, en este sistema es necesario tener un tanque contenedor mediante el cual se almacene el aire comprimido para realizar las descargas en las mangas mediante la **Ec.(30)** donde el coeficiente de flujo de la válvula es dada por el fabricante y este valor corresponde a 16.

$$\dot{Q} = 981C_v \quad (30)$$

$$\dot{Q} = 981 \times 16 = 15696 \text{ l/min} = 261.6 \text{ l/s}$$

Los tiempos de abertura de las válvulas por lo general son entre 50 y 500 ms, estos tiempos se puede programar y se escoge un tiempo de abertura de 300ms y con la **Ec.(31)** se determina la capacidad mínima que debe de tener el tanque con el cual se realizara las descargas en las válvulas solenoide.

$$Q = \dot{Q} * t \quad (31)$$

$$Q = 261.6 \text{ l/s} \times 0.3\text{s} = 78.48 \text{ litros}$$

Se requiere determinar el caudal mínimo de aire que debe proporcionar el compresor para satisfacer el sistema de pulse jet, este caudal se establece por medio de la **Ec.(32)** donde se considera un tiempo de recarga de 3 min lo equivalente a 180 seg.

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} \quad (32)$$

$$\dot{Q} = \frac{78.48 \text{ l}}{180 \text{ s}} = 0.436 \text{ l/s}$$

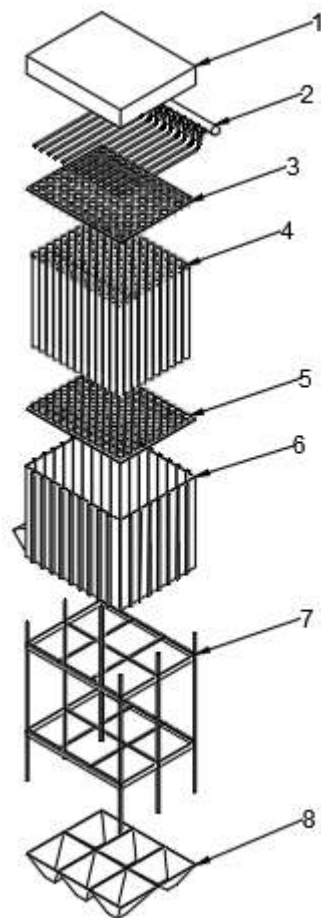


Figura 41 Filtro de mangas en secciones

Realizar un análisis estructural permite conocer las dimensiones de la estructura que soportará el peso del filtro de mangas el cual se divide mediante 8 secciones como se muestra en la **Figura 41** se realiza una tabla donde se observa el nombre del material, las cantidades de material y el peso equivalente de cada sección como se muestra en la **Tabla 25**, así mismo como otras características para ser evaluadas en el diseño siendo la cantidad de contenido de material particulado y densidad, para determinar las fuerzas ejercidas en las tolvas de almacenamiento de polvo.

Tabla 25 Peso de las secciones del filtro de mangas

#	NOMBRE	MATERIAL	CANTIDAD DE MATERIAL	PESO MATERIAL	PESO TOTAL kg
1	Entrada de aire	Lámina galvanizada calibre 16	12.6 m ²	12.21 kg/m ²	153.8
2	Sistema de limpieza pulse jet			200 kg	200
3	Soporte de mangas	Lámina galvanizada calibre 16	4.9 m ²	12.21 kg/m ²	59.82
4	Mangas	poliéster	122.52 m ²	440 gr/m ²	50
5	Soporte de mangas	Lámina galvanizada calibre 16	4.9 m ²	12.21 kg/m ²	59.82
6	Contenedor de mangas	Lámina galvanizada calibre 18	51.84 m ²	9.76 kg/m ²	505
7	Estructura de filtro de mangas	Angulo 3x3/8	130 m	10.7 kg/m	1391
8	Tolvas de descargue	Lámina galvanizada calibre 16	12.58 m ²	12.21 kg/m ²	153
	Tolvas de descargue	$\rho = 400 \text{ kg/m}^3$	2 m ³		800

$$\text{peso total de estructura} = 3372.44\text{kg} \times 1.3 = 4383,6\text{kg} \times 9,81 = \mathbf{43\ 000\ N}$$

Una vez fueron determinados los pesos de cada sección se procede a determinar qué tipo de conjunto estructural se utilizará, esto se realiza mediante una serie de iteración con ángulos estructurales mediante simulaciones con el software conocido como SolidWorks una herramienta que nos permite realizar los cálculos estructurales de una manera más precisa y rápida. Para la estructura se decide

utilizar perfiles estructurales en forma de L simétricos denominados ángulos con dimensiones de 3x3x3/8 referencia en pulgadas siendo unidos para optar una forma cuadra el cual brinda mayor resistencia.

4.15.4 Simulación de análisis estructural

Realizar análisis estáticos a través de simulaciones permite determinar la resistencia de una estructura con la finalidad de reducir costos y seleccionar las dimensiones optimas de funcionamiento.

Se realiza un análisis estático con la herramienta de simulación que proporciona solidworks, estructura se realiza mediante perfiles cuadrados de 3x3x3/8 referencia en pulgadas, el modelo 3D se realiza mediante la herramienta de perfiles estructurales que proporciona solidworks que además proporciona el área, momentos de inercia y radios de giro.

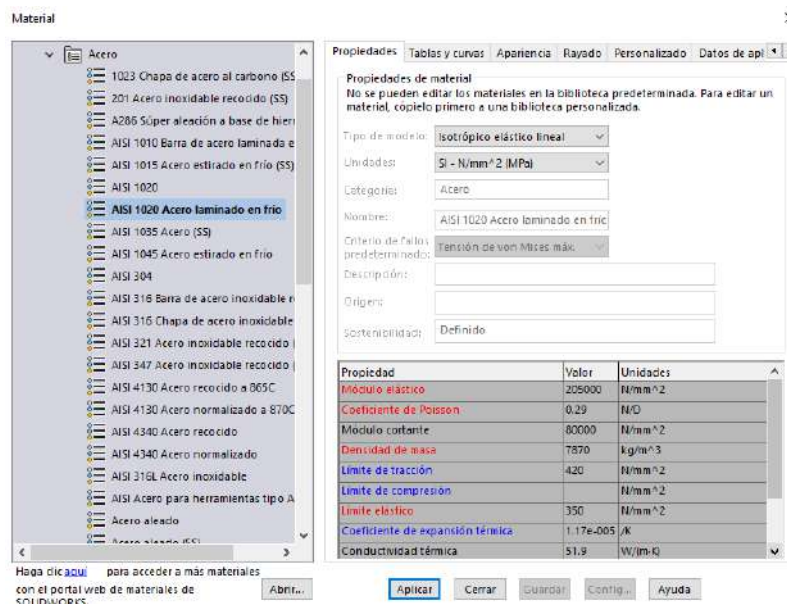


Figura 42 selección de material de estructura

Para realizar el análisis mediante simulación en la **Figura 42** se muestra la selección del material mediante las librerías que aporta solidworks con las propiedades mecánicas necesarias para realizar distintos tipos de análisis en estos

casos un análisis estático, se realiza la selección de un acero AISI 1020 laminado en frío.

Mediante el peso total de la estructura se procede a colocar una carga distribuida mediante la opción de masa distribuida que permite seleccionar varios elementos, se le aplica una carga de 4400 kg en los cuales se verá reflejado todo el peso de la estructura como se muestra en la **Figura 43**.

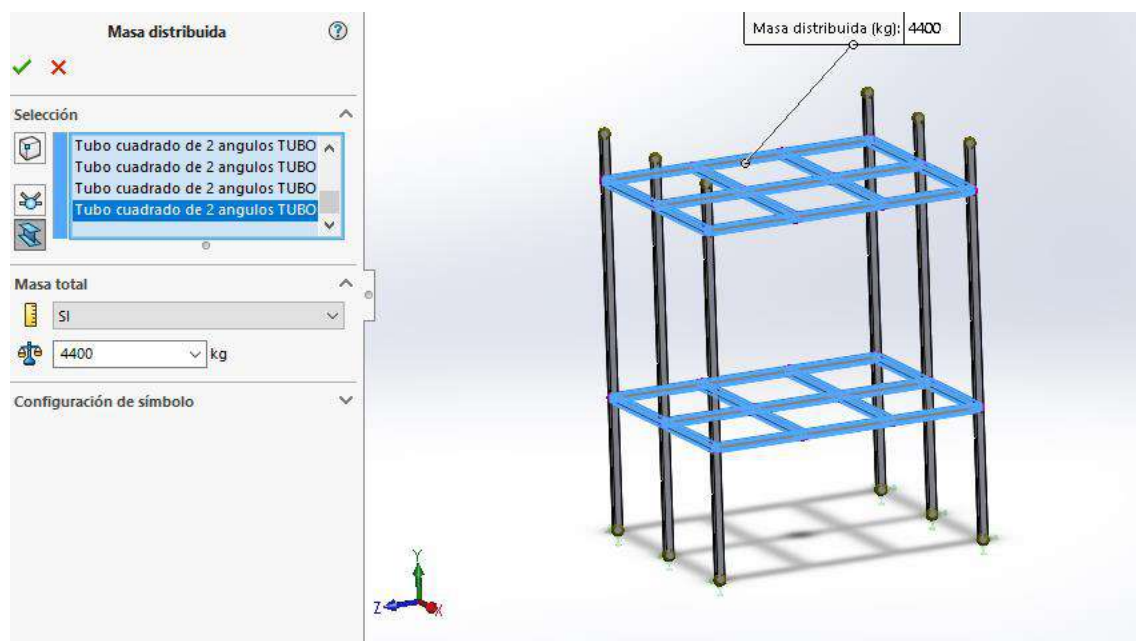


Figura 43 carga distribuida a través de masa distribuida

En todo análisis estático se colocan sujeciones fijas las cuales restringen el movimiento de la estructura, se resaltan con flechas verdes como se muestra en la **Figura 44**, además se sitúa una fuerza externa como la aceleración de la gravedad en dirección vertical, se resalta con una flecha roja.

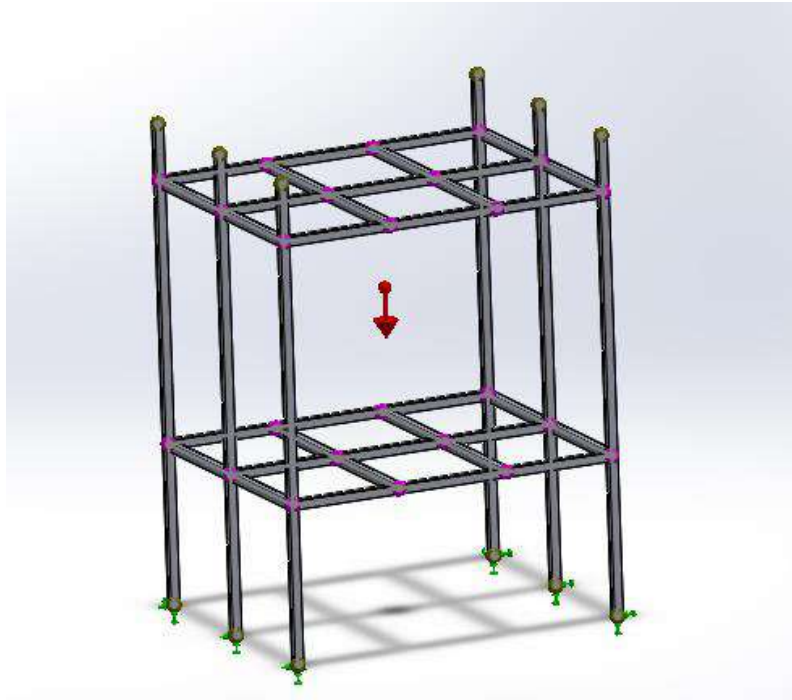


Figura 44 sujeción y punto de gravedad

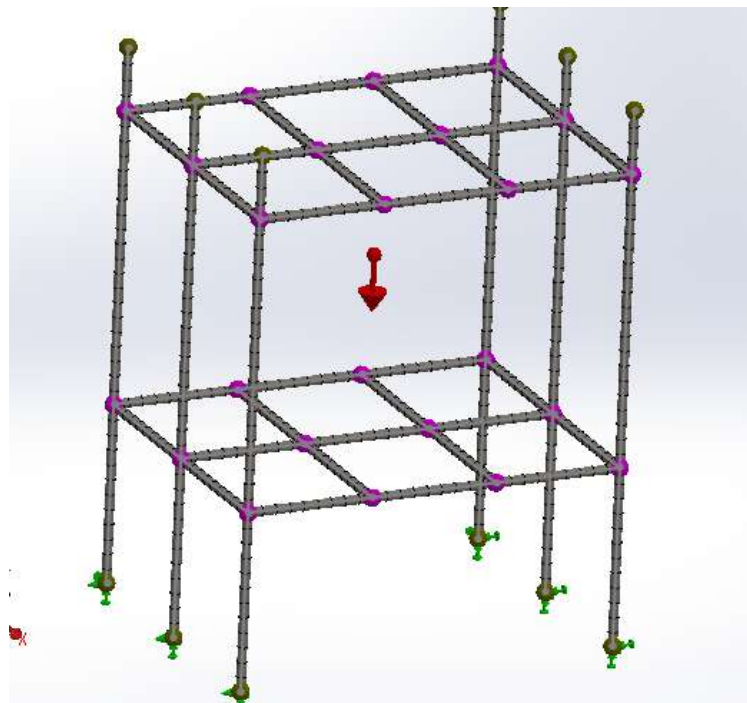


Figura 45 Malla

Para el modelo 3D de la estructura se utiliza la herramienta miembro estructural, el cual facilita el modelado y el mallado de la estructura. En la **Figura 45** muestra la malla generada al utilizar miembro estructural el cual se genera de forma automática y estableciendo los diferentes puntos de unión.

En la **Figura 46** muestra los detalles de la malla, el número de nodos y elementos generados y la malla es tipo viga.

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático
Tipo de malla	Malla de viga
Número total de nodos	550
Número total de elementos	538
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:00:04
Nombre de computadora	

Figura 46 Elementos de malla

En la **Figura 47** se realiza un análisis estructural donde se realiza la distribución de las fuerzas en la estructura principal que sostendrá a cada una de las secciones. Se observan el máximo esfuerzo al que es sometida la estructura es de 35.92 Mpa el cual no supera el esfuerzo permisible.

Además de un análisis de esfuerzos se realiza un análisis de los desplazamientos generados por las cargas soportadas, así como se muestra en la **Figura 48** donde se observa el desplazamiento máximo de 2.86 mm, este desplazamiento solo ocurrirá cuando se apliquen las máximas cargas de diseño.

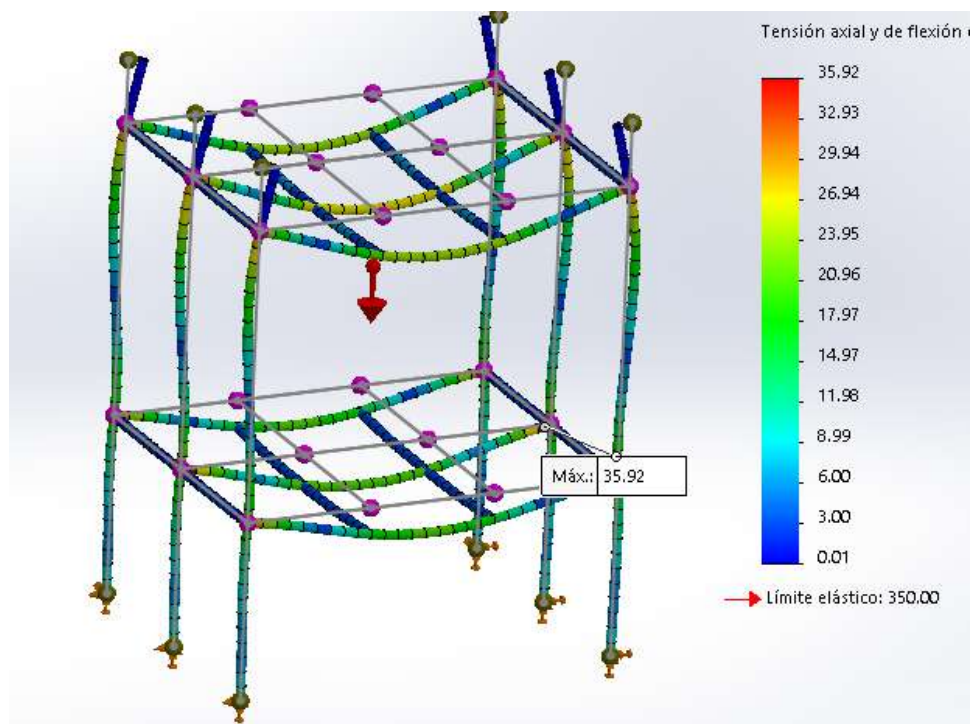


Figura 47 Esfuerzo soportados en el filtro de mangas

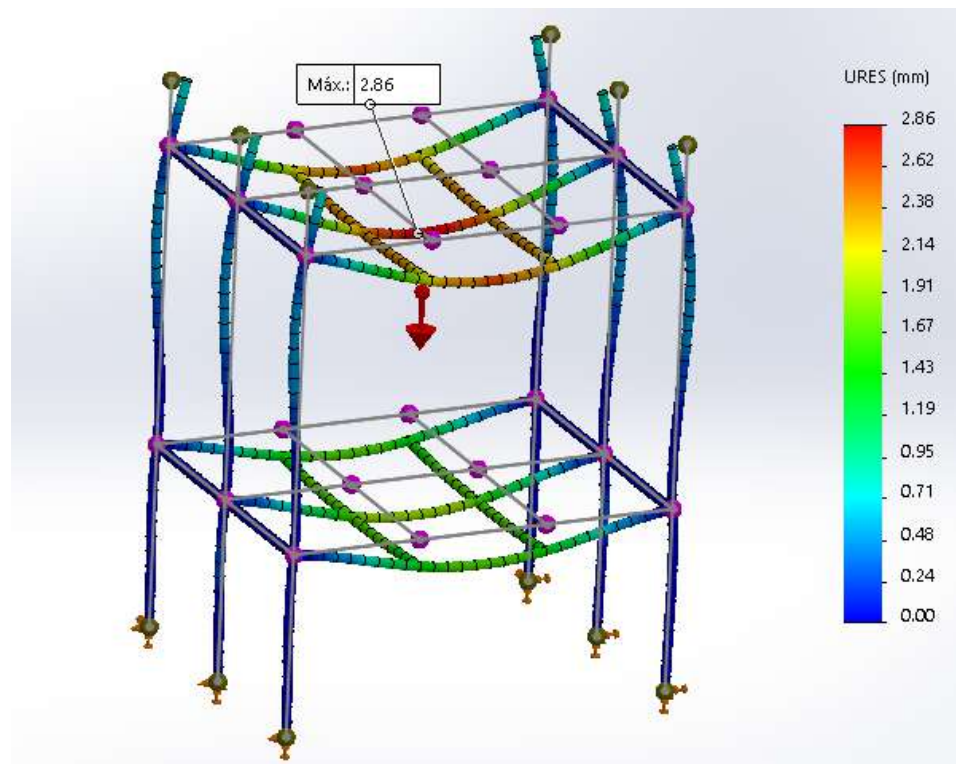


Figura 48 Desplazamiento generados en la estructura

Analizar el mínimo factor de seguridad presente en la estructura diseñada para el filtro de mangas, determinando el nivel de confiabilidad de la estructura ante las cargas ejercidas en el tiempo de operación, así como se muestra en la **Figura 49** el valor mínimo es de 9.7 siendo un factor de seguridad elevado y aceptable para el diseño.

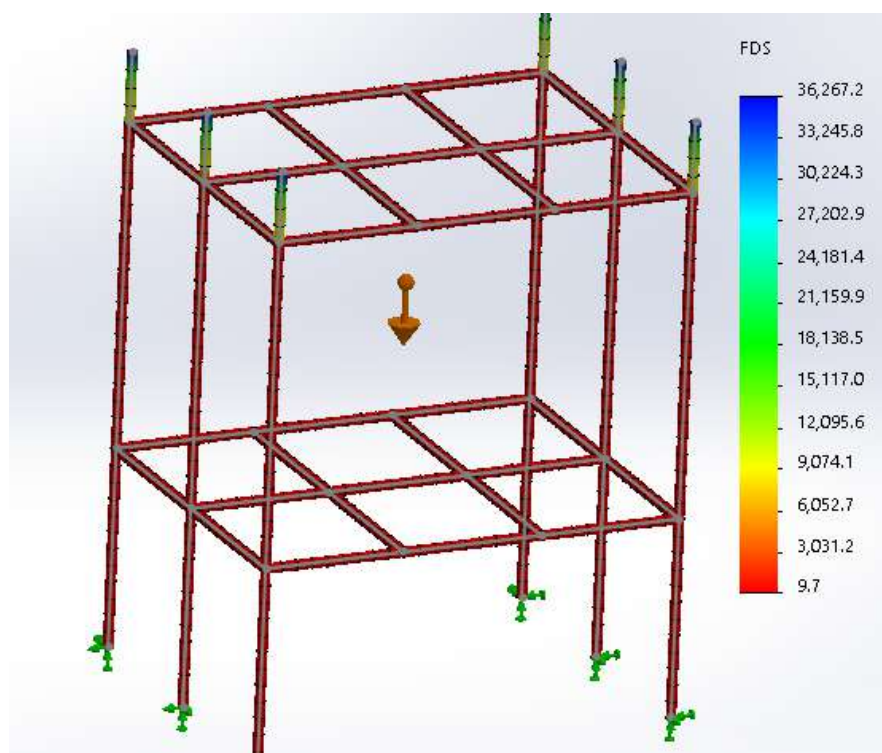


Figura 49 Factor de seguridad generado en estructura de filtro de mangas

4.15.5 Diseño de estructura de contención

El filtro de mangas siendo un sistema que funciona con flujo de aire por la parte interna de las mangas, necesita de una estructura contenedora de las mangas para evitar reducir la vida útil y protegerla de la intemperie. En la **Figura 50** se observa cómo es el deterioro de un filtro de mangas cuando está expuesto a ambientes inadecuados, se observa creación de moho debido a la humedad, uno de los

problemas ocasionados por la humedad es la adherencia de las partículas a la tela, la cual genera una disminución en el área de filtración, en consecuencia, volviendo ineficiente el sistema de filtración.



Figura 50 Filtro de mangas a la intemperie

Con la finalidad de evitar la exposición a la intemperie de las mangas mostrado anteriormente en la **Figura 50** se permite el desarrollo estructural mediante dobleces de lámina mostrados en **Figura 51** con la finalidad de dar mayor resistencia a las presiones estáticas generadas por el ventilador y los pulse jet, en el **ANEXO 7** se observan los planos de diseño para el filtro de mangas.

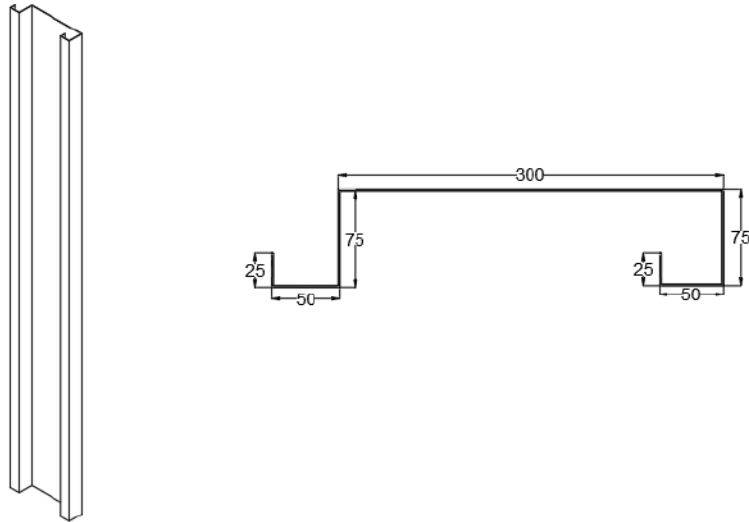


Figura 51 Dobles de lámina

4.15.6 Simulación de estructura de contención de filtro de mangas

Realizar un análisis de la presión estática generada en el filtro de mangas para determinar el correcto funcionamiento de la estructura, permitiendo seleccionar las dimensiones y tipo de material para un diseño adecuado.

Se realiza la selección del material para el diseño de un acero galvanizado como se muestra en la **Figura 52**, el cual se obtiene todas las propiedades mecánicas necesarias para la realización del análisis estático.

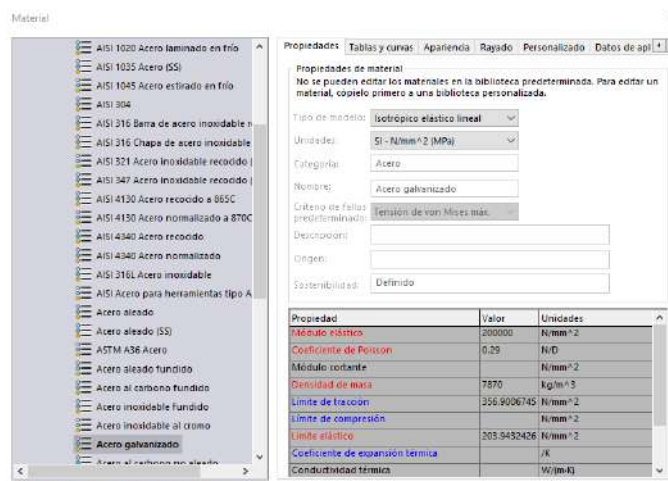


Figura 52 Selección de material para estructura de contención de filtro de mangas

El modelo 3D es conformado con varias dobleces como se muestra en la **Figura 51** con la finalidad de obtener mayor resistencia, en la **Figura 53** se muestran las sujeciones fijas donde no se presentarán grados de movimiento, además se indica la presión estática representadas con vectores resaltados en rojo de acuerdo a su dirección se expresa una presión positiva cuyo valor es de 4500 Pa.

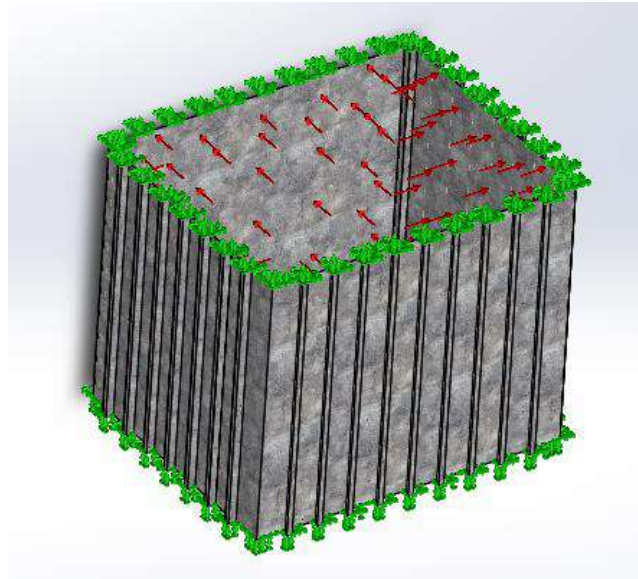


Figura 53 Sujeciones y presión estática

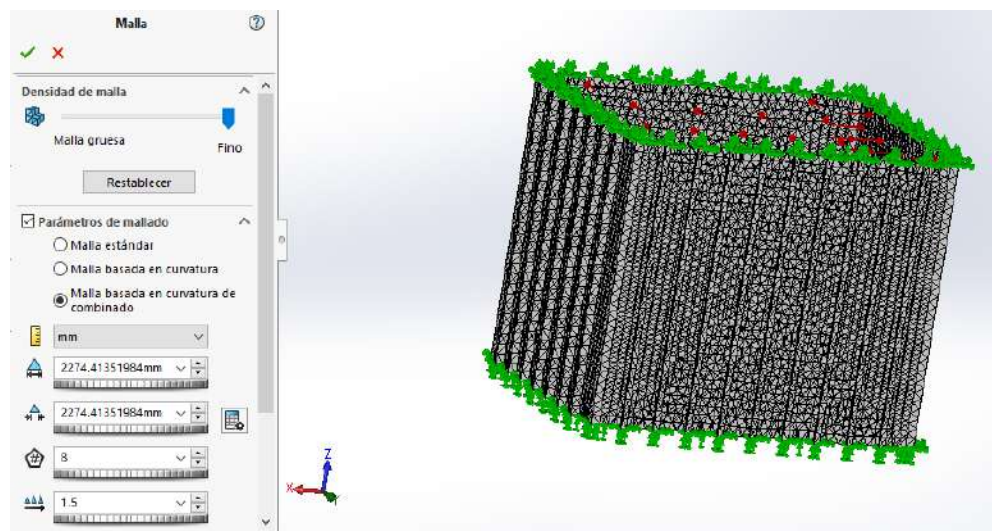


Figura 54 Configuración de malla para estructura de contención

En la **Figura 54** se muestra una construcción de malla con una densidad fina y cuyo tipo de malla es mixta basada en curvatura con la finalidad de lograr un mallado acorde a la estructura.

En la **Figura 55** se muestra el tamaño máximo y mínimo de los elementos con un valor de 2274.41 mm, número total de nodos y el número total de elementos en la malla.

Malla Detalles	
Nombre de estudio	Análisis estático 3 a partir de [Análisis estátic
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos	4 puntos
Tamaño máx. de elemento	2274.41 mm
Tamaño mín. de elemento	2274.41 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	99838
Número total de elementos	51238
Cociente de aspecto máximo	3423.8
Porcentaje de elementos con cociente de aspecto < 3	0.00195

Figura 55 Detalles de malla en estructura de contención

Se realiza un análisis de presión estática en la estructura donde estarán contenidas las mangas para determinar los esfuerzos generados por la presión de aire por parte del ventilador y el sistema de pulse jet. La **Figura 56** representa los esfuerzos máximos ejercidos en la estructura, el máximo esfuerzo generados es de 29.04Mpa.

El determinar los desplazamientos en una estructura se torna de gran importancia esto es debido si una estructura se generan desplazamientos excesivos el cual puedes ocasionar deformaciones en el material, la **Figura 57** se observa el comportamiento de la estructura que permitirá la contención del filtro de mangas el cual presenta un desplazamiento máximo de 14.06 mm en conjuntos con el esfuerzo encontrado en la **Figura 56** se determina que la estructura no tendrá deformación permanente y el desplazamiento obtenido es aceptable para el diseño.

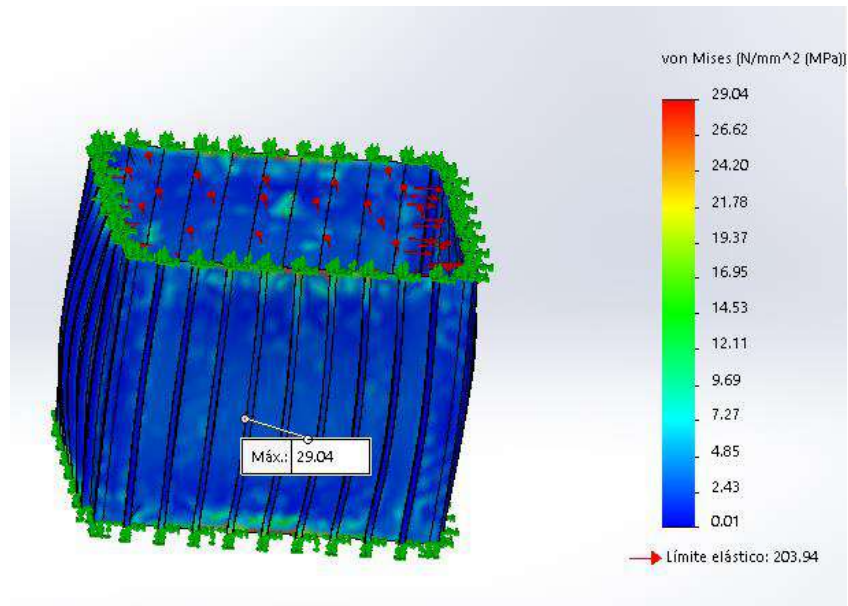


Figura 56 Esfuerzo generado mediante la presión en cajón de contención

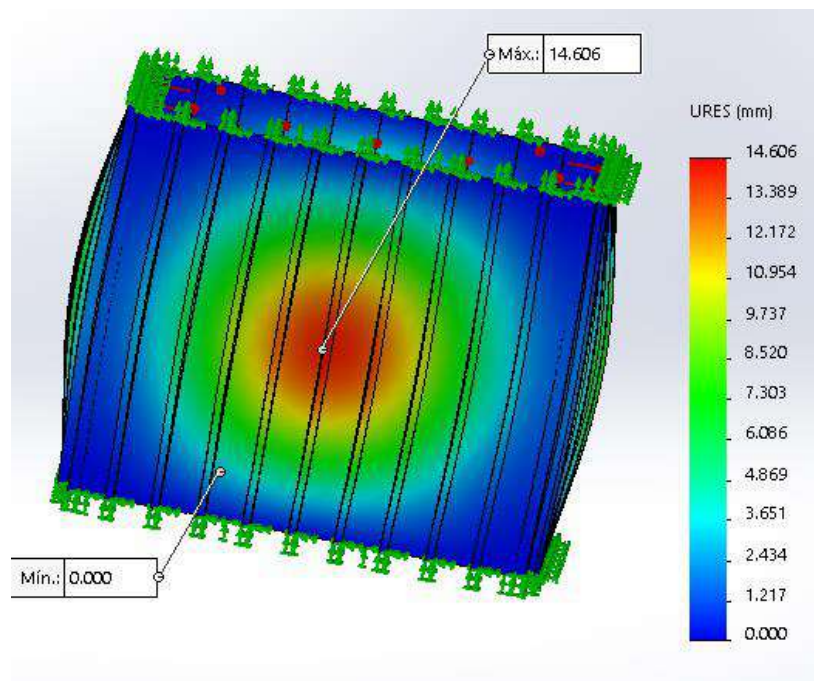


Figura 57 Desplazamiento debido presión ejercida

4.16 Modelo de sistema de succión

La realización de modelos 3D permite una mayor comprensión de cómo se llevará a cabo el diseño con respecto a los ductos y equipos utilizados en la **Figura 58** se observa la vista superior del modelo el cual se identifica de color rojo, además se identifica los componentes como bandas transportadoras, elevadores de cangilones, silos de trabajo y torre de secado de grano.

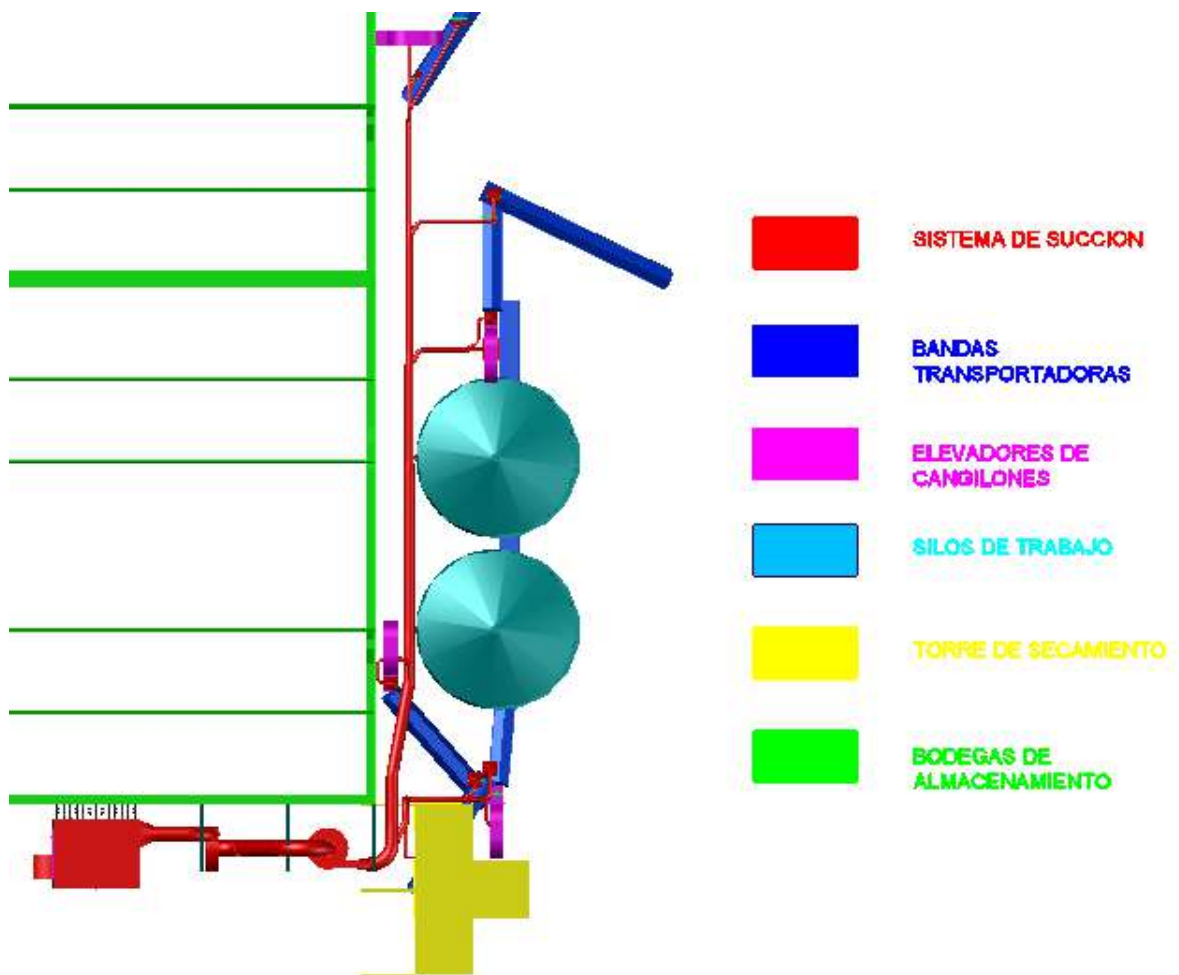


Figura 58 Vista superior de sistema de extracción de polvo

En la **Figura 59** se muestra la distribución de los ductos con sus diferentes accesorios como lo son campanas de captación, codos, entradas y los diferentes

equipos como el separador ciclónico, el ventilador y el filtro de mangas. En el **ANEXO 8** se tienen todos los detalles como longitudes, diámetros, listados de piezas siendo claves para la realización del montaje del sistema de succión.

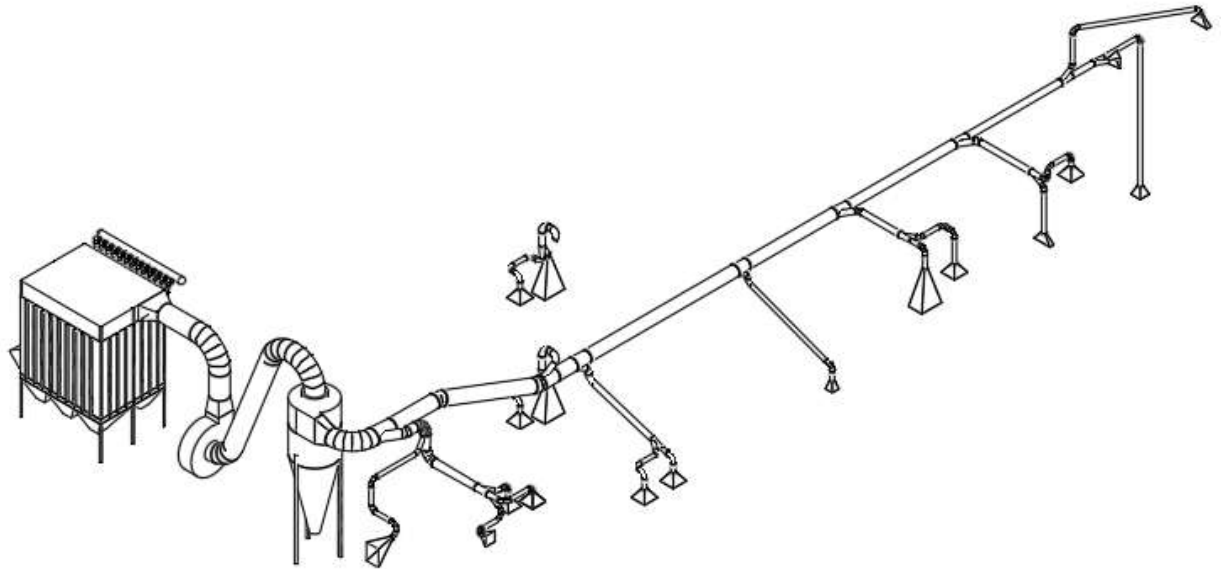


Figura 59 Modelo 3D

4.17 Diseño de codos con diferentes ángulos de inclinación

En la fabricación de codos o semi-codos se implementa secciones de tubería con un grado de inclinación como se muestra en la **Figura 60**, con la de varias secciones se logras diferentes grados de inclinación para estas inclinaciones normalmente se trabajan a 15° de inclinación esto es debido a su mayor versatilidad para lograr distintos ángulos como los son 15,30,45,60,75,90. Para lograr asegurar estas secciones de codo se utilizan bridas o abrazaderas, las bridas brindan mayor rigidez en cambio las abrazaderas aportan mayor versatilidad a la hora de realizar los montajes de tubería.



Figura 60 Secciones de codos Fuente Autor

Existen maneras diferentes para lograr su fabricación esto depende del uso que se requiera, una de estas maneras es mediante sección por separado como se mencionó anteriormente, otra manera es mediante la unión por medio de soldadura logrando un grado de inclinación fijo, así como se observa en la **Figura 61** se tiene la fabricación de codos a 90 grados.



Figura 61 Codo con grado de inclinación fijo Fuente Autor

Para lograr fabricar de las secciones inclinadas que componen un codo se utiliza el desarrollo de estas secciones mediante programas CAD (Diseño Asistido por Computadora), se tienen en cuenta los distintos radios que presenta un codo o curvatura en tuberías, así como se indica en la **Figura 62**.

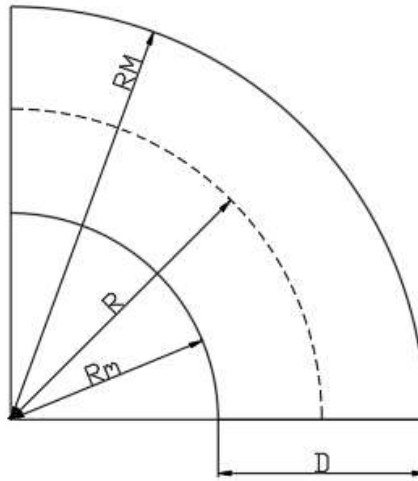


Figura 62 Codo con sus diferentes radios Fuente Autor

Donde:

R=Radio de curvatura [mm]

RM=Radio mayor [mm]

Rm=Radio menor [mm]

D=Diámetro [mm]

Se tienen distintos radios de curvatura que se deben tener presentes en la realización del desarrollo de la pieza, el radio mayor indica la altura máxima que obtendrá el codo si se obtiene 90 grados de inclinación, Radio menor indica la altura mínima que se obtiene para cada sección, el radio de curvatura y el diámetro son necesarios para la determinación de pérdidas de presión generadas.

En la **Figura 63** se observa el desarrollo de codos con diferentes secciones y ángulos, se obtiene una forma irregular para elaborar esta forma se utilizan líneas distanciadas donde se determina la altura de cada línea para generar un trazado de una forma irregular y se proyecta en 2 caras para conformar una silueta desarrollada, con las que se fabricaran diferentes secciones dando así codos con diferentes ángulos de inclinación.

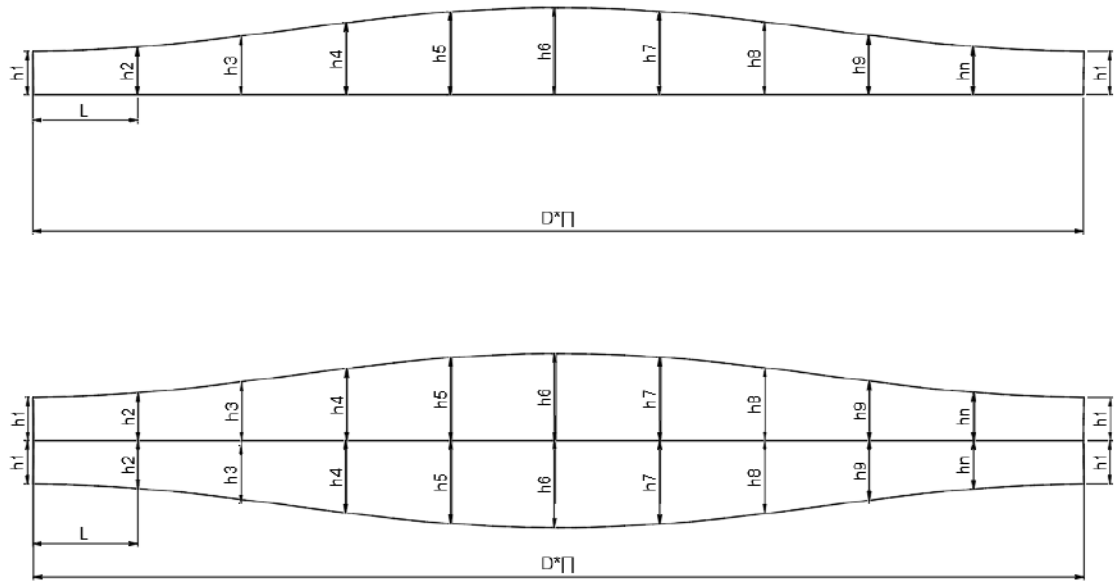


Figura 63 Secciones de codo Fuente Autor

Donde:

h=Altura [mm]

L=Longitud de espaciado [mm]

D=Diámetro [mm]

Para encontrar la altura mínima de **h** se tiene en cuenta la relación R/D para todo el sistema de 1.5 como se indica en **Ec.(33)** despejando el radio de curvatura y restando la mitad del diámetro se determina R_m siendo el Radio menor como se indica en la **Ec.(34)**.

$$\frac{R}{D} = 1.5 \quad (33)$$

$$R_m = 1.5D - 0.5D = D \quad (34)$$

El encontrar la altura mínima como se muestra en **Ec.(35)** es el punto de partida para el desarrollo de las secciones inclinadas que conformaran un codo con determinado ángulo.

$$h1 = \frac{Rm * \theta * \pi}{2 * 180} \quad (35)$$

Determinar el radio mayor se realiza mediante la **Ec.(36)**

$$RM = 1.5D + 0.5D = 2D \quad (36)$$

Encontrar la longitud total que tendrá el trazado se realiza mediante la **Ec (37)** y la **Ec (38)** se emplea para encontrar la altura máxima que se encuentra en la mitad del trazado a desarrollar

$$LT = D * \pi \quad (37)$$

Donde:

LT =Longitud Total

$$h_{max} = \frac{RM * \theta * \pi}{2 * 180} \quad (38)$$

Donde:

h_{max} =Altura máxima

Determinar los valores en cada tramo se realiza mediante la **Ec (35)** y **(38)** con la variación de los radios entre (Rm-RM). Existen distintas maneras de realizar estos procesos anteriormente descrito se realiza manualmente con la ayuda de las ecuaciones, otra manera es mediante el desarrollo computacional de programas a fines en el trazado de accesorios para tubería, se tienen planos detallados del trazado de codos en el **ANEXO 9**.

4.18 Diseño de trazos para la fabricación de entradas a ramales

En el trazado de uniones, se tiene en cuenta los diferentes diámetros que se requieran mostrado en la **Figura 64**, la entrada de ramales se conforma mediante 2 piezas, una reducción de diámetro que implica el Diámetro A y Diámetro B, una

sección de tubo que implica un Diámetro C el cual debe de llevar un ángulo inclinación, para este proyecto se hará con ángulo de 30°.

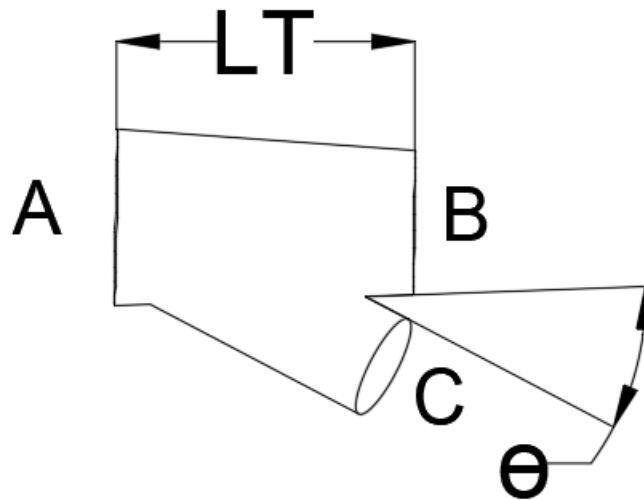


Figura 64 Denotación de unión con diferentes diámetros y Ángulo Fuente Autor

Donde:

A=Diámetro A [mm]

B=Diámetro B [mm]

C=Diámetro C [mm]

θ =Ángulo de inclinación[adimensional]

La entrada a los ramales es un accesorio que permite la conexión entre un ramal y el troncal principal en la **Figura 65** se contempla la fabricación de una entrada a ramal en lámina galvanizada y se aprecia la reducción que compromete los diámetros A y B, e inclinación de un segundo ducto el cual se refiere al diámetro C.

El trazado de ambas piezas se torna más complejo debido a la introducción de un ducto que se relaciona con el diámetro C, en el trazado de la reducción se debe de tener en cuenta los diámetros a reducir y el corte donde ira incrustada la sección de ducto que nos permitirá realizar la conexión a los ramales y troncales secundarios, así como se indica en la **Figura 66**



Figura 65 Entrada a Ramales

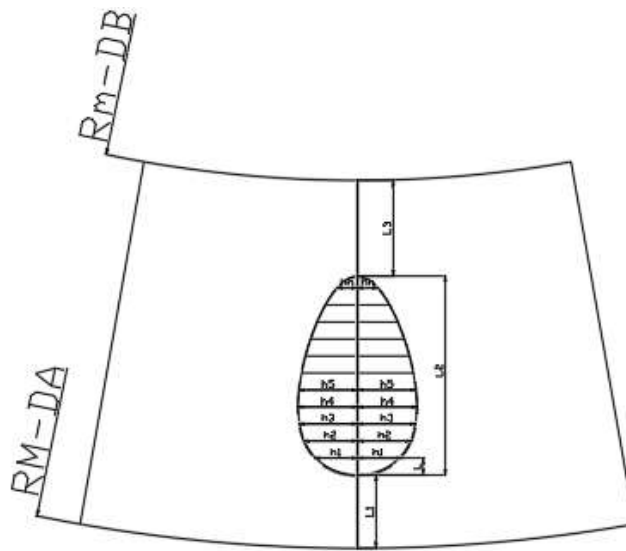


Figura 66 Trazado de reducción completo Fuente Autor

Donde:

RM-DA=Radio mayor con respecto al diámetro A [mm]

Rm-DB= Radio menor con respecto al diámetro B [mm]

L=Longitud de espaciado [mm]

L1=Longitud con respecto a RM-DA [mm]

L2=Longitud total de espaciado [mm]

L3= Longitud con respecto a Rm-DB [mm]

Teniendo en cuenta que en ocasiones RM-DA y Rm-DB se convierten en radios considerables los cuales dificultan el trazado, se puede optar por desarrollar, media cara como se muestra en la **Figura 67**, se utiliza el método realizar trazos no uniformes mediante líneas separadas a una misma longitud.

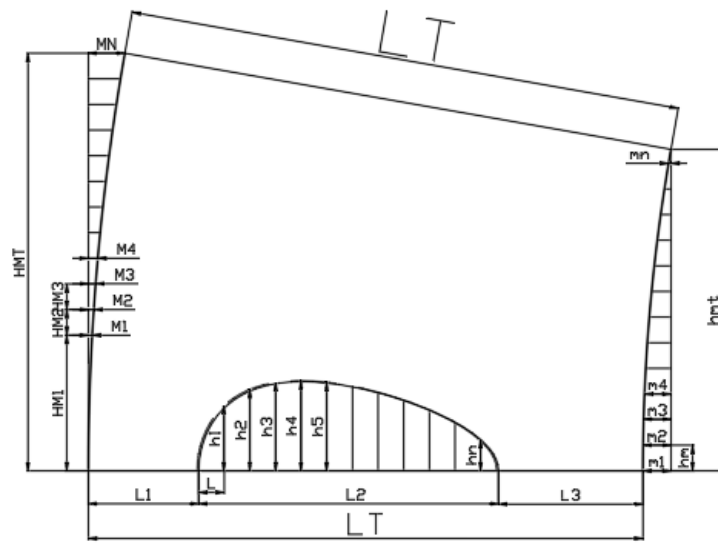


Figura 67 Trazado de reducción media cara Fuente Autor

Donde:

LT=Longitud total [mm]

HMT=Altura total de separación con respecto a RM-DA [mm]

HM= Altura de separación con respecto a RM-DA [mm]

M=longitud de espaciado con respecto a RM-DA [mm]

hmt= Altura total de separación con respecto a Rm-DB [mm]

hm= Altura de separación con respecto a Rm-DB [mm]

m= longitud de espaciado con respecto a Rm-DB [mm]

para el trazado del segundo ducto que está en relación al diámetro C y los grados de inclinación, la forma especial que adquiere este ducto se le conoce como boca de pescado y tiene el siguiente desarrollo como se muestra en la **Figura 68**, se utiliza el mismo método para las formas irregulares que anteriormente se mencionaron, otra manera más sencilla para realizar el trazado, es mediante la herramienta de desarrollo que posee los softwares CAD como lo son solid Works y Solid Edge

mediante el entorno de desarrollo de chapa metálica en el **ANEXO 10** se tiene el desarrollo de la entrada de ramales.

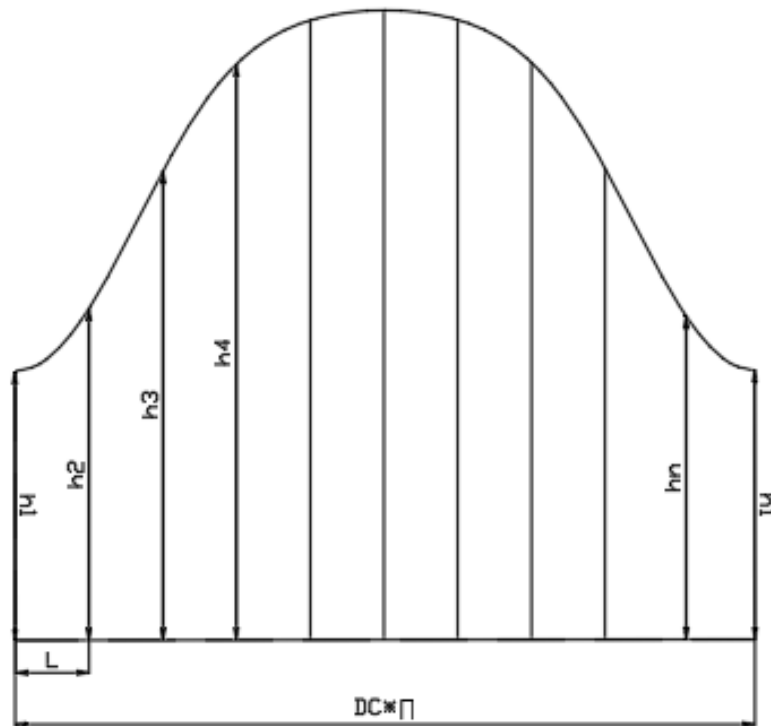


Figura 68 Sección de corte boca de pescado

Donde:

h=Altura [mm]

L=Longitud de espaciado entre h [mm]

DC=Diámetro C [mm]

4.19 Diseño de trazos de campanas de captación

En la fabricación de campanas de captación se tiene en cuenta la reducción de sección rectangular a una sección circular, su altura y número de pliegues que nos permitirá hacer la transición de una sección cuadrada a una redonda, así como se muestra en la **Figura 69**, el ángulo de dobles en cada una de las esquinas de la parte rectangular no debe superar los 90° de inclinación, esto quiere decir que los 90° se dividen en el número total de pliegues para determinar los grados de inclinación en cada una de las longitudes de los pliegues.

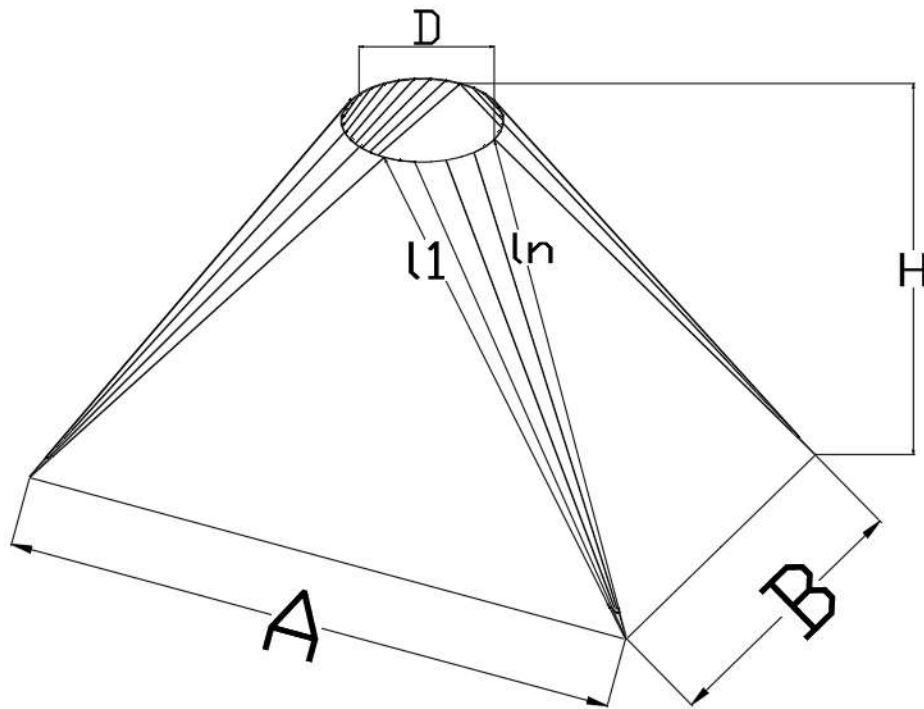


Figura 69 Modelado 3D campana

Donde:

A=Lado A arista cuadrada [mm]

B= Lado B arista cuadrada [mm]

D=Diámetro [mm]

l=Longitud de pliegue [mm]

H=Altura [mm]

Los trazos para las campanas de captación cambian en relación a las dimensiones que se necesiten, en la **Figura 70** se observa el trazado completo de una campaña de captación con diferentes ángulos de inclinación el θ_2 y θ_3 está relacionado con inclinación de sección A y B de la forma rectangular en cambio θ_1 es el ángulo de inclinación entre las longitudes del pliegue, también se conoce a **C** como la separación entre pliegues esta debe ser equivalente a $\sum C = D * \pi$.

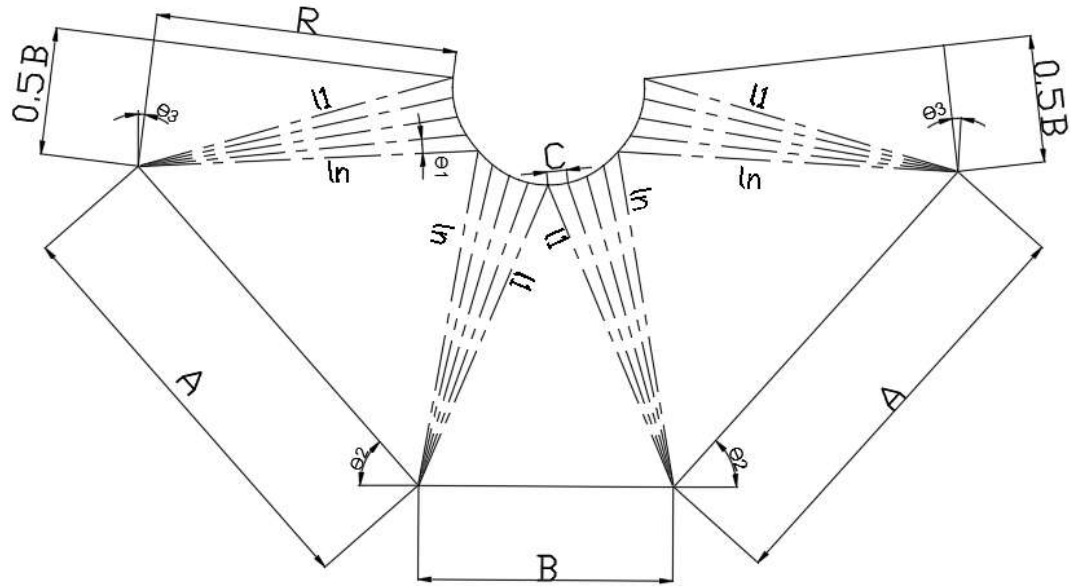


Figura 70 Trazado completo

Donde:

R=Radio [mm]

C=separación entre pliegues [mm]

θ₁= Angulo en longitudes del pliegue [mm]

θ₂= Angulo con respecto A [mm]

θ₃= Angulo con respecto B [mm]

Para la fabricación de campanas de captación se utiliza media cara como se muestra en la **Figura 71**, se realiza con el fin de facilitar el proceso de doblado de las campanas.

El trazado de la campana nos ayuda en la creación del cuerpo principal como se muestra en la **Figura 72**, además de esto se debe realizar la unión de ambas caras y colocar la sujeción en la sección rectangular y la sección circular donde se unirá el ducto de aire, para evitar pedidas de aire a través de la soldadura se puede aplicar masilla.

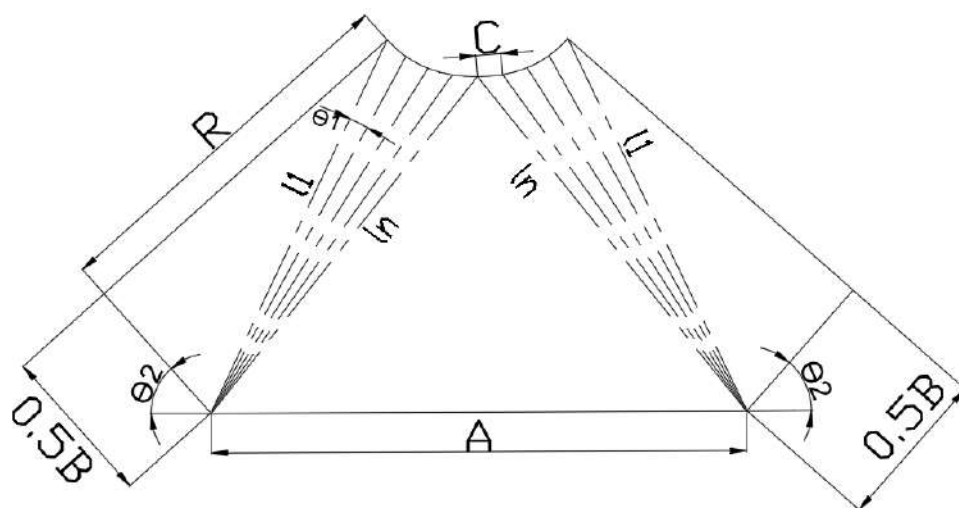


Figura 71 Trazado de media cara



Figura 72 Campana en fabricación

Una vez termina la fabricación y pintada de las campanas de captación se procede a realizar la instalación de las campanas respectivamente, como se indica en la **Figura 73**, las campanas se deben fabricar teniendo en cuenta las dimensiones donde se piensa instalar, evitando inconvenientes a la hora de la instalación de los ductos de aire, el **ANEXO 11**.



Figura 73 Campana instalada

5. ANÁLISIS DE COSTOS

En la realización de análisis de costos se tendrá en cuenta el sistema de ductos en los cuales está implicado, ductos para el transporte de material particulado, codos, pantalones (entradas a ramales), campanas, cajones de recubrimiento así mismo como el separador ciclónico, ventilador y filtro de mangas.

5.1 Sistema de ductos

Los costos en el sistema de ductos son proporcionales a los diámetros y longitudes de los ductos y demás accesorios, es de gran importancia calcular el área de cada una de las piezas que hacen parte del sistema, esto se debe a la fabricación donde se utilizan mayormente láminas de 1220 x 2440 mm con un área 2976800 mm² estas láminas comercialmente se conoce como lámina de 4 x 8ft , en la realización del cálculo de áreas se utiliza el listado de los tramos y accesorios que se presenta mediante el **ANEXO 8**.

5.1.1 Ductos

Determinar el área de los ductos se establece mediante la **Tabla 26**, se tiene en cuenta la conformación de los ductos el cual se utiliza tramos rectangulares donde se les realiza el proceso de cilindrado, a partir de esto se presenta el l1 y l2 como los lados de una sección rectangular a partir de esto se determina el área y la suma total de las áreas y el número de láminas necesarios para la fabricación de los ductos.

Tabla 26 Área de sistema de ductos

DUCTOS	CANTIDADES	I1 (mm)	I2 (mm)	Suma de Area (mm^2)
ducto 120x100	2	754	200	75400
ducto 120x1200	1	377	1200	452400
ducto 120x1360	1	377	1360	512720
ducto 120x1400	1	377	1400	527800
ducto 120x160	1	377	160	60320
ducto 120x190	1	377	190	71630
ducto 120x200	1	377	200	75400
ducto 120x250	1	377	250	94250
ducto 120x260	1	377	260	98020
ducto 120x300	2	754	600	226200
ducto 120x3000	1	377	3000	1131000
ducto 120x3200	1	377	3200	1206400
ducto 120x350	1	377	350	131950
ducto 120x420	1	377	420	158340
ducto 120x4600	1	377	4600	1734200
ducto 120x500	1	377	500	188500
ducto 120x540	2	754	1080	407160
ducto 120x550	1	377	550	207350
ducto 120x560	1	377	560	211120
ducto 120x570	1	377	570	214890
ducto 120x620	1	377	620	233740
ducto 120x700	1	377	700	263900
ducto 120x800	1	377	800	301600
ducto 12x210	1	377	210	79170
ducto 160x150	1	503	150	75450
ducto 160x2000	1	503	2000	1006000
ducto 160x2500	2	1006	5000	2515000
ducto 160x500	1	503	500	251500
ducto 160x800	1	503	800	402400
ducto 200x4000	1	630	4000	2520000
ducto 210x1600	1	660	1600	1056000
ducto 240x500	1	760	500	380000
ducto 260x3500	1	820	3500	2870000
ducto 330x5000	1	1036	5000	5180000
ducto 380x700	1	1200	700	840000
ducto 410x1600	1	1300	1600	2080000
ducto 410x3000	1	1300	3000	3900000
ducto 560x1200	1	1760	1200	2112000
ducto 560x1800	1	1760	1800	3168000
ducto120x955	1	377	955	360035
ducto310x3300	1	974	3300	3214200
ducto560x4000	1	1760	4000	7040000
Total general	46	27534	62585	47,634,045
Total de laminas 4x8 ft				16

5.1.2 Codos

En la determinación de la cantidad de material que será empleado en la fabricación de codos se determina mediante el desarrollo del casco como se muestra en el **ANEXO 9**, a partir de esto se genera una tabla con la cantidad de codos necesarios para el sistema de succión se tienen en cuenta el número de casco que se requieren para conformar los ángulos en los codos se determina l1 y l2 como las longitudes de una sección rectangular que se requiere para la fabricación de los cascos mediante este método se obtiene las suma de las áreas donde se determina el número la cantidad de material así como el número de láminas a utilizar.

Tabla 27 Área de los codos según número de cascos

CODOS	CANTIDADES	suma l1 (mm)	suma l2 (mm)	Suma de N cascos	Suma de Area (mm^2)
codo 10°x120	2	754	84	2	31668
codo 10°x410	1	1290	150	1	193500
codo 15°x410	1	1290	215	1	277350
codo 20°x120	1	377	42	2	31668
codo 30°x120	1	377	65	2	49010
codo 30°x240	1	755	125	2	188750
codo 60°x120	7	2639	455	28	686140
codo 60°x160	3	1509	252	12	507024
codo 75°x560	2	3520	586	10	5156800
codo 90°x120	28	10556	1820	168	4116840
codo 90°x160	3	1509	252	18	760536
codo 90°x210	1	660	110	6	435600
codo 90°x240	1	755	125	6	566250
codo 90°x480	1	1510	252	6	2283120
codo 90°x560	2	3520	586	12	6188160
Total general	55	31021	5119	276	21,472,416
Total de laminas 4x8 ft					7.21

5.1.3 Entrada a ramales

Para fabricar entrada a ramales se utilizan 2 secciones, una sección cónica y una sección cilíndrica con un corte denominado boca de pescado. Para el cálculo del área necesaria se utilizarán 2 secciones rectangulares con base en el **ANEXO 10** donde se observa el desarrollo de las piezas. En la **Tabla 28** se observa l1 y l2 para el área de la sección cónica. l3 y l4 determinan el área de la sección cilindra con un corte boca de pescado, además se indica la cantidad de entradas a ramales y dimensiones de cada uno de estos según los diámetros y número de láminas a utilizar.

Tabla 28 Área de entrada a ramales

PANTALON (entrada a ramales)	CANTIDADES	Suma de l1	Suma de l2	Suma de l3	Suma de l4	Suma de Area (mm ²)
pantalon 160x120x120-L470	5	2550	2450	1900	1900	1971500
pantalon 180x120x120-L460	1	490	570	400	380	431300
pantalon 200x160x120-L430	1	540	630	382	382	486124
pantalon 210x180x120-L430	1	670	450	400	380	453500
pantalon 240x210x120-L470	1	760	490	400	380	524400
pantalon 260x200x160-L500	1	510	820	430	505	635350
pantalon 310x260x160-L540	1	980	580	450	510	797900
pantalon 330x310x120-L480	1	1050	500	400	380	677000
pantalon 380x330x160-L540	1	1200	580	440	510	920400
pantalon 410x380x160-L550	1	1300	580	510	460	988600
pantalon 480x410x240-L680	1	1510	740	560	760	1543000
Total general	15	11560	8390	6272	6547	9,429,074
Total de laminas 4x8 ft						3.17

5.1.4 Campanas de captación

En la fabricación de campanas de captación se utilizará una sección rectangular de lámina, donde se obtendrá el corte de dos caras para así conformar la campana mediante la realización de dobleces, el desarrollo de las campanas se muestra en el **ANEXO 11**. La **Tabla 29** se observa las longitudes de la sección rectangular que será necesario para la realización de los cortes que se llevará a cabo para la fabricación de las campanas de captación, l1 y l2 indica las dimensiones de la

sección rectangular que se utilizará para el corte y desarrollo de las campanas. Mediante el nombre de cada campana se especifica el diámetro, sección rectangular y la altura. Además, se indican las cantidades de campanas que se utilizaran, así como el número de láminas necesarias para la fabricación.

Tabla 29 Área de campanas de captación

CAMPANAS DE CAPTACION	CANTIDADES	Suma de L1	Suma de L2	Suma de Area (mm ²)
Campana D120-C250X250-H300	3	1176	2490	976080
Campana D120-C500X500-H300	7	4550	7350	4777500
Campana D120-C600x150-H300	2	1020	2100	1071000
Campana D120-C740X500-H1150	4	5680	6000	8520000
Campana D480-C800X300-H500	1	700	1900	1330000
Campana D560-C500x500-H500	1	610	2000	1220000
Campana D560-C557x477-H500	1	640	2050	1312000
Total general	19	14376	23890	19,206,580
Total de laminas 4x8 ft				6.45

Para tener un mayor control en el material particulado que es generado a través de bandas transportadoras y elevadores de cangilones es necesario la fabricación de cajones de recubrimiento, los cuales van unidos a las campanas de captación permitiendo controlar los volúmenes de material particulado que son liberados al medio ambiente. En la **Tabla 30** se observa el cálculo de área que se utilizara para los cajones de recubrimiento donde se utilizara una tira larga de 500mm x 2500 mm donde se sacara 5 secciones para conformar un cajón de recubrimiento con un total de 8 unidades.

Tabla 30 Área de cajones de recubrimiento

CAJONES DE RECUBRIMIENTO	CANTIDADES	Suma de L	Suma de L2	Suma de Area (mm ²)
CAJONES DE RECUBRIMIENTO	8	500	2500	10000000
Total general	8	500	2500	10,000,000
Total de laminas 4x8 ft				3.36

Anteriormente se describió el proceso para el cálculo de material del sistema de ductos en base al desarrollo de las piezas dando como resultado el número de láminas galvanizadas necesarias para la fabricación de las piezas que componen el sistema de ductos, el número total de láminas que se utilizarán es de 37 donde se utilizará un factor de seguridad de 1.3 para obtener un total de 48 láminas, así como se indica en la **Tabla 31** además se incluyen otros materiales que garantizan la unión entre los tramos de los ductos y accesorios como campanas y entrada a los ramales, los materiales requeridos son abrazaderas, soldadura. Se obtiene un total de materiales necesarios, su precio unitario y subtotal obteniéndose el costo total para el sistema de ductos.

Tabla 31 Costo de sistema de ductos

Sistema de ductos	Cantidad	Valor unitario	Subtotal
VARILLA CUADRADA DE 3/8	18	19,000	342000
LAMINIA GALVANIZADA 4X8 CALIBRE 18	48	200,000	9600000
SOLDADURA DE ELECTRODO GALVANIZADO SO GALV 4.0 CAJA: Ref. KSE-5903: 4.0 x 350 . Caja de 38 unidades (2 kg)	4	85,000	340000
ABRASADERA DE 12cm	80	4,500	360000
ABRASADERA DE 16cm	6	5,000	30000
ABRASADERA DE 18cm	4	6,000	24000
ABRASADERA DE 20cm	6	6,500	39000
ABRASADERA DE 21cm	4	6,500	26000
ABRASADERA DE 24cm	6	7,000	42000
ABRASADERA DE 26cm	4	7,500	30000
ABRASADERA DE 31cm	4	8,000	32000
ABRASADERA DE 33cm	2	8,500	17000
ABRASADERA DE 38cm	2	9,000	18000
ABRASADERA DE 41cm	2	9,500	19000
ABRASADERA DE 48cm	2	10,000	20000
ABRASADERA DE 56cm	4	12,000	48000

5.1.5 Separador ciclónico

En la fabricación del separador ciclónico se utilizarán láminas cold rolled calibre 16, en la **Tabla 32** se observa la cantidad de materiales necesarios como el número de láminas, tornillos y soldadura requeridos en la fabricación dando un costo total. Con base al **ANEXO 2** se presenta el desarrollo mediante chapa metálica donde se determinan el número de láminas necesarias de acuerdo a las dimensiones.

Tabla 32 Costo de separador ciclónico

Ciclon	Cantidad	Valor unitario	Subtotal
LAMINA COLD ROLLED 4X8 CALIBRE 16	10	350,000	3,500,000
LAMINA COLD ROLLED 4X10 CALIBRE 16	4	400,000	1,600,000
ANGULO 3X3X3/8	3	195,000	585,000
tornillo 1/2	55	700	38,500
tornillo 3/8 x 1	80	900	72,000
SOLDADURA 6011	5	15,000	75,000
VALOR TOTAL			5,870,500

5.1.6 Ventilador

El ventilador seleccionado es de la marca **SODECA** el cual se encarga de diseñar el ventilador cuyas características como la presión total y caudal estén acorde con las seleccionadas para el sistema de succión. La empresa suministra la estructura con un motor de 40 Hp, en la **Tabla 33** se presentan los costos totales del ventilador incluyendo el valor del IVA.

Tabla 33 Costos de ventilador

Modelo	Cantidad	Valor unitario	Valor con IVA(19%)
AH23-S30-A9-40-1441RPM 60HZ	1	31,475,000	37,455,250

5.1.7 Filtro de mangas

En la fabricación del filtro de mangas se requieren de distintos tipos de materiales en los cuales están las mangas, láminas, ángulos, tornillos y soldadura en la **Tabla 34** se observa las cantidades necesarias de los diferentes materiales con sus respectivos precios y el costo total.

Tabla 34 Costo de filtro de mangas

Filtro de mangas	Cantidad	Valor unitario	Subtotal
MANGAS 15cmx2,50m	130	25,000	3,250,000
LAMINA GALVANIZADA 4X8 CALIBRE 18	20	200,000	4,000,000
LAMINA COLD ROLLED 4X10 CALIBRE 16	4	400,000	1,600,000
LAMINA GALVANIZADA 4X8 CALIBRE 16	8	250,000	2,000,000
ANGULO 3X3X3/8	24	195,000	4,680,000
PLATINA 1x1/8	25	17,900	447,500
tornillo autoperforante 3/16x1	270	300	81,000
tornillo 1/2 x1	72	700	50,400
SOLDADURA 6011	10	15,000	150,000
VALOR TOTAL			16,258,900

Se requiere un sistema secundario para el diseño del filtro de mangas, este se compone de aire a presión donde se necesita un sistema de tuberías para transportar el aire comprimido, mediante el uso de válvulas solenoides que nos permiten realizar descargas de aire periódicamente para permitir la limpieza de las mangas, la **Tabla 35** se presenta un listado de materiales y determinar el costo total del sistema secundario.

Tabla 35 Costo de sistema de tuberías de aire comprimido

Tuberia de aire comprimido	Cantidad	Valor unitario	Subtotal
tubo galvanizado de 1/2 aire comprimido	4	25,000	100,000
codo de 1/2	10	5,000	50,000
union en T 1/2	3	10,000	30,000
valvula solnoide para aire pulse jet de 3/4	13	200,000	2,600,000
VALOR TOTAL			2,780,000

5.1.8 Mano de obra

En la realización del montaje de sistema de succión de material particulado se tiene en cuenta la mano de obra calificada para este proceso en la **Tabla 36** se observa el personal necesario para la fabricación e instalación del proyecto, cabe recalcar que se tendrá una estimación de 30 días de duración, se necesitará de un soldador, un doblador y 2 auxiliares.

Tabla 36 Costos de mano de obra

Profesion	Cantidad	Valor
Soldador	1	3,000,000
Doblador	1	2,500,000
Auxiliares	2	1,800,000
Total de mano de obra		9,100,000

5.1.9 Inversión total

Realizado el análisis de todos los materiales necesarios para la fabricación e instalación del sistema de succión mediante la **Tabla 37**, se obtiene la inversión total, además se le agrega un factor de seguridad ante inconvenientes del 10% extra con el fin de solucionar imprevistos durante la ejecución del proyecto a esto se le

agregara el IVA correspondiente del 19%, se destaca recalcar que el total de inversión se representa en pesos colombianos.

Tabla 37 Inversión total

Costo total del proyecto	
Sistema de ductos	10,987,000
Separador ciclonico	5,870,500
Ventilador	37,455,250
Filtro de mangas	16,258,900
Sistema de aire comprimido	2,780,000
Mano de obra	9,100,000
Subtotal	82,451,650
IVA	19%
Factor de seguridad	10%
TOTAL DE INVERSION	106,362,629

5.2 Costo de operación del ventilador

El ventilador trabaja con un motor de 30 kW, para estimar un costo anual de funcionamiento se tiene en cuenta 3 meses de temporada alta donde se tendrá un funcionamiento del ventilador de 24h diarias y en temporadas bajas con una duración de 6 meses en promedio y un funcionamiento de 8 h se estima el total de horas de funcionamiento anuales del ventilador y se determina el costo eléctrico anual para el ventilador.

$$3 \text{ meses} \times 30 \text{ dias} \times 24\text{h} = 2160 \text{ h}$$

$$6 \text{ meses} \times 26 \text{ dias} \times 12\text{h} = 1872 \text{ h}$$

Se tiene un promedio de horas anuales de 4032 horas en la que el ventilador estará en funcionamiento, el costo de energía por kW es de 574,3728 COP, este valor de la tarifa de energía del mes de noviembre de 2022 es proporcionado por la empresa de Enerca el cual es la encargada del servicio eléctrico en la ciudad de aguazul [42].

$$4032 \text{ h} \times 30 \text{ kw} \times 574,3728 \frac{\text{COP}}{\text{kwh}} = 69.476.133 \text{ COP}$$

Anualmente se tiene un costo de 69.476.133 COP en consumo eléctrico para el funcionamiento del sistema de extracción de polvo

5.3 Costos anuales de filtro de mangas

Se tiene en cuenta los diferentes factores que implica la operación del filtro de magas como la mano de obra, la supervisión, mangas de repuestos y el desecho del material particulado.

5.3.1 Mano de obra de operación

En los procesos de la recolección del material particulado captado por el filtro de mangas se propone una limpieza de 2 horas por cada día de operación entre los diferentes turnos en temporadas altas y en temporadas bajas 1 hora, con base a las horas de limpieza realiza anualmente se estima el costo de operación en relación al salario mínimo legal vigente donde el costo por hora es de 4166 COP.

$$3 \text{ meses} \times 30 \text{ dias} \times 2 \text{ h} = 180 \text{ h}$$

$$6 \text{ meses} \times 26 \text{ dias} \times 1 \text{ h} = 156 \text{ h}$$

$$336 \text{ h} \times 4166 \frac{\text{COP}}{\text{h}} = 1.399.776 \text{ COP}$$

5.3.2 Costos de mantenimiento

Teniendo en cuenta una temporada de 2 a 3 meses donde no se presentan movimientos de arroz paddy en el área de secamiento. Se estima un mantenimiento general del filtro de mangas donde se realiza las verificaciones del estado de cada una de las mangas y del sistema pulse jet, se estima una duración de 15 días para la verificación del estado del sistema con un costo promedio de 2.000.000 COP en cuanto a la mano de obra. Los materiales remplazables para el filtro son las mangas estas cuentan con una duración promedio de 2 a 4 años [43], el cual varia el costo en función de las mangas en mal estado.

5.3.3 Costo de aire comprimido

Para realizar el cálculo del costo del funcionamiento anual del aire comprimido para el funcionamiento de los pulse jet se es necesario estimar el consumo energético de un compresor y secador, se estima un consumo eléctrico de 0,2 kW por 1 cfm para el compresor y para el secador es de 0,01 kW por 1 cfm a una presión de 100psi [44]. Las válvulas se necesita un caudal de 155 m³/h se estima el costo de operación anual.

$$4032 \text{ h} \times (0,2 + 0,01) \text{ kw/cfm} \times 155 \text{ m}^3/\text{h} \times \frac{1 \text{ cfm}}{1,699 \text{ m}^3/\text{h}} \times 574,3728 \frac{\text{COP}}{\text{kwh}}$$

$$\text{costo anual} = 44.368.219 \text{ COP}$$

5.4 Análisis de costos anuales

Se proyecta los porcentajes de los costos anuales en la **Figura 74** se observa el mayor costo de operación con un 59% es debido al funcionamiento del ventilador el cual tiene mayor consumo energético y en la producción de aire comprimido abarca el 38%, en la **Figura 75** se observa una comparación del costos total de fabricación del proyecto con respecto a los costos de operación del sistema de extracción el cual equivale al 110% del costo total de la fabricación.

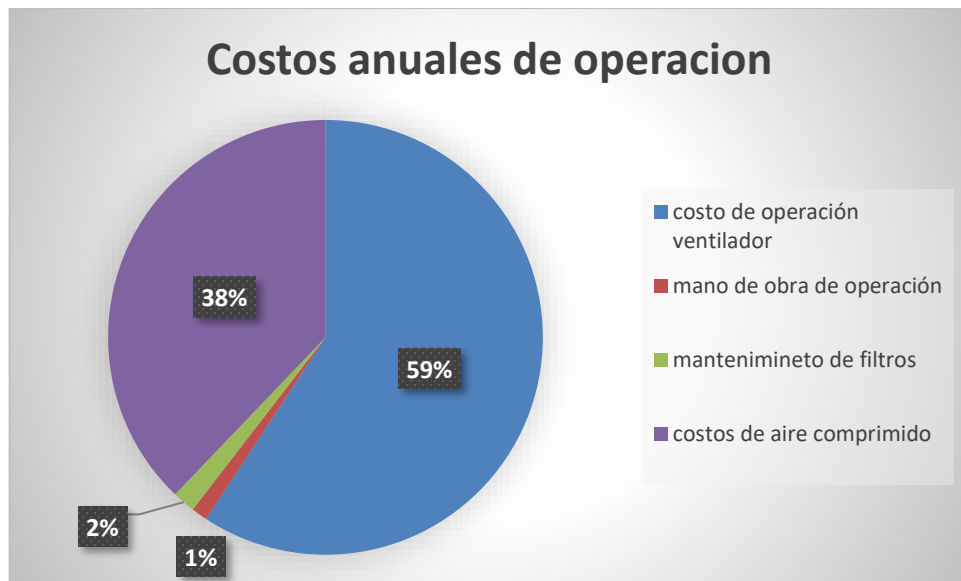


Figura 74 Costos anuales de operación

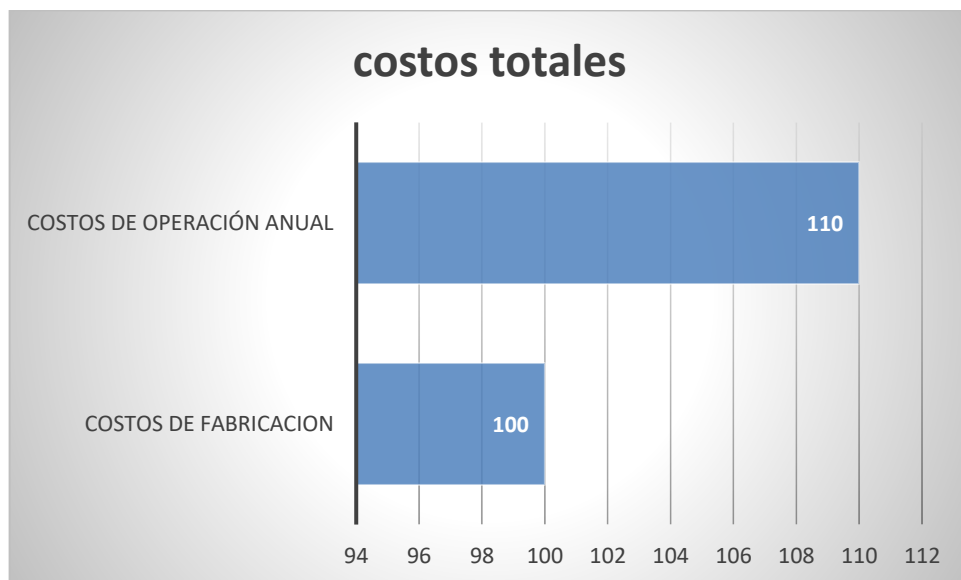


Figura 75 Comparación de costos.

6. MONTAJE DEL SISTEMA DE SUCCIÓN

La implementación del sistema de succión se lleva a cabo, bajo ciertas restricciones generadas por los altos costos de fabricación y el tiempo disponible para llevar a cabo la instalación de diferentes puntos de captación.

6.1 Separador ciclónico

Se opta por instalar un separador ciclónico el cual cuenta con mediadas similares a las propuestas en el diseño, con la finalidad de reducir los costos de instalación, en la **Figura 76** se muestra la realización de mantenimiento al separador ciclónico al cual se le arreglan imperfecciones como abolladuras, poros y una aplicación de pintura.

A) Parte superior cilíndrica



B) Sección cónica superior



C) Sección cónica inferior



Figura 76 Mantenimiento a separador ciclónico

6.2 Codos

En la fabricación de los codos se utiliza impresiones en plóter para obtener la plantilla con la que se utilizara para generar las secciones de los codos con los diferentes ángulos. En la **Figura 77A**, muestra la fabricación de la secciones, se realiza un proceso de cilindrado, en la **Figura 77B** se muestra la unión de las sección mediante soldadura para generar el codo de 90 grados, en la **Figura 77C** se muestran el resultado final de los codos con una aplicación de capa de pintura.

A)



B)



C)



Figura 77 Fabricación de codos

6.3 Campanas

En la fabricación de las campanas de captación se realiza mediante la impresión de plóter la chapa desarrollada para agilizar el tiempo de fabricación y reducir el gasto de material como se muestra en la **Figura 78A**, para evitar fugas en la campana debido a la soldadura se le aplica macilla y se realiza una pequeña extensión de ducto para realizar la conexión mediante abrazaderas como se muestra en la **Figura 78B**, se aplica capa de pintura que ayuda en la presentación de la campana y mitigar la corrosión, se realiza la instalación en un cajón de recubrimientos que permite un mayor control en la liberación del material particulado como se muestra en la **Figura 78C**.

A)



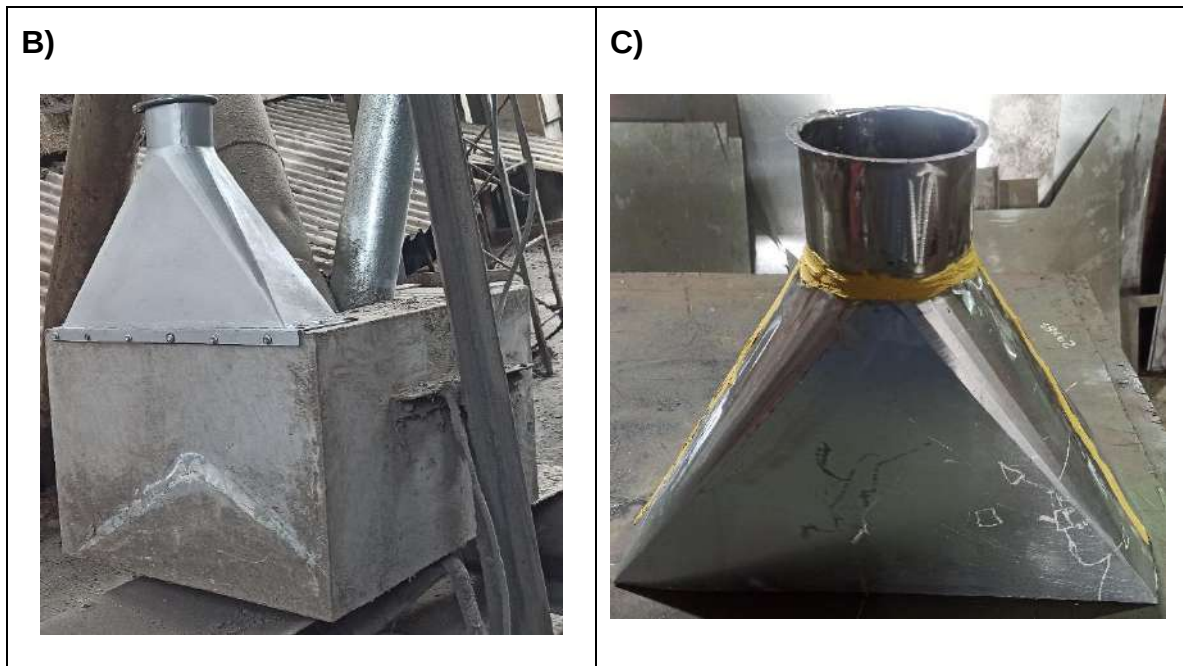


Figura 78 Fabricación de campanas de captación

6.4 Instalación de separador ciclónico, ventilador y filtro de mangas

Se lleva a cabo las instalaciones de los equipos de captación de aire en el área designada, en la **Figura 79A**, se muestra la conexión realizada y la configuración que presenta es primero el separador ciclónico para captar las partículas pesadas, el ventilador y por último el filtro de mangas donde se captaran las partículas ligeras. Se recomienda una limpieza del material en los equipos de captación periódicamente ya que no se cuenta con un sistema de recolección continua. En la **Figura 79B** se muestra la instalación de las mangas en el filtro, no se lleva a cabo la instalación del filtro diseñado, se instalan mangas con un diámetro mayor el cual se presenta una reducción en el área de filtración y una mayor velocidad de filtración produciendo mayores pérdidas en el caudal y presión. En la **Figura 79C** muestra la instalación del separador ciclónico, el cual presenta dimensiones cercanas a las del diseño se observa una disminución el área del cono.

A)



B)



C)



Figura 79 Instalación de separador ciclónico, ventilador y filtro de mangas

6.5 Puntos de succión

Se realiza la conexión de diferentes puntos de succión como se muestra en la **Figura 80**, los puntos más críticos se destacan los elevadores, por falta de materiales se realizan conexiones de forma directa sin tener en cuenta ángulos de

90 grados para obtener una mayor organización en los ductos. Se realiza la conexión de los puntos 1-2-5-7-11-13-16

A) Ramal puntos 13-16



B) Punto 13



C) Punto 11



D) Punto 16



E) Punto 5



Figura 80 Instalación de puntos de succión

7. CONCLUSIONES

En la creación de sistemas de succión es importante establecer los parámetros de funcionamiento, como las velocidades de captación a través de los ductos para evitar obstrucción por el material particulado. Las pérdidas de presión que se generan en relación de las dimensiones de la red de tuberías, velocidades del aire y la selección del material. El correcto funcionamiento en el sistema es determinado por el ventilador y los equipos de recolección de material particulado.

se identificó la mayor producción de material particulado el cual se ve reflejado en el transporte del grano de arroz mediante sistemas de bandas transportadoras y elevadores de cangilones, generando afectaciones en las diferentes áreas de producción y el recurso humano presente. Identificar zonas donde principalmente se genera el material particulado e implementando un sistema de extracción permite un mayor control, logrando disminuir las afectaciones generadas y evitando un impacto ambiental.

Se comprende una configuración de separador ciclónico seguido del ventilador y finalmente un filtro de mangas, la configuración antes mencionada genera mayor eficiencia en el sistema de extracción de material particulado, esto debido que el separador ciclónico capta las partículas pesadas y el filtro de mangas las partículas ligeras, logrando una mayor eficiencia y una menor descompensación en el ventilador debido a las partículas pesadas.

El material mayormente utilizado para la realización del sistema de extracción de material particulado se compone principalmente por láminas galvanizadas, los costos presentes aumentan en relación al dimensionamiento de los ductos de captación, para el análisis de costos es de gran importancia el desarrollo de chapa de los componentes que conforman el sistema de ductos donde se permite conocer la cantidad de material necesario con respecto al área.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Karthick, D. L. Belgin Paul, and A. Sathesh Kumar, "Performance of energy-efficient rice mills," *Int. J. Ambient Energy*, vol. 41, no. 5, pp. 556–558, 2020, doi: 10.1080/01430750.2018.1477064.
- [2] C. X. Rong, B. X. Li, W. Liu, and N. Zhao, "The effect of oyster shell powder and rice husk ash on the pyrolysis of rice husk for bio-oil," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 40, no. 11, pp. 1291–1304, 2018, doi: 10.1080/15567036.2018.1469690.
- [3] Y. M. Toro, M. Guerra, C. Espinoza, and A. Newman, "Cambios en la composición proximal de harina de maíz precocida, arroz, pastas y cereales infantiles al prepararlos en el hogar para su consumo.," in *Anales Venezolanos de Nutrición*, 2011, vol. 24, no. 1.
- [4] J. G. Vázquez-García, V. Hoyos, G. Plaza, C. Palma-Bautista, R. Alcántara-de la Cruz, and R. De Prado, "Glyphosate resistance in *Chloris radiata* from colombian rice fields involves one target-site mechanism," *Chemosphere*, vol. 281, no. May, 2021, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.130888.
- [5] G. O. Ondier, T. J. Siebenmorgen, and A. Mauromoustakos, "Low-temperature, low-relative humidity drying of rough rice," *J. Food Eng.*, vol. 100, no. 3, pp. 545–550, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.05.004>.
- [6] V. Maldaner *et al.*, "Effects of intermittent drying on physicochemical and morphological quality of rice and endosperm of milled brown rice," *LWT*, vol. 152, p. 112334, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112334>.
- [7] L. B. Carpio and M. R. Sánchez, "Disminución de contaminantes aéreos en una planta de balanceados mediante la propuesta de un sistema de extracción de polvo," *Ingenius. Rev. Cienc. y Tecnol.*, no. 12, pp. 5–14, 2014.
- [8] J. F. Monge-Araya, "Evaluación y cálculo del sistema de succión de polvos de la torre de secado de detergente," 2006.
- [9] Q. Liu *et al.*, "A study on the dust control effect of the dust extraction system in TBM construction tunnels based on CFD computer simulation technology," *Adv. Powder Technol.*, vol. 30, no. 10, pp. 2059–2075, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apt.2019.06.019>.
- [10] J. Pampa Condori, "Desarrollo de un sistema de desempolvado para la línea de transporte de cemento," 2020.
- [11] A. A. Márquez Quizhpi and J. P. Ulloa Montero, "Diseño de un sistema de extracción de polvo y viruta de madera para la carpintería de la Fundación Salesiana" PACES". 2018.

- [12] J. A. Bustamante Tamayo, "Diseño de un sistema de extracción de viruta y polvo de papel generado en los procesos de refilado en guillotinas circulares, laterales y trilaterales." Espol, 2015.
- [13] A. Pérez Peralta, "Diseño de una instalación de transporte neumático de sólidos para un proceso de molienda." 2020.
- [14] D. Pilay Guerra and L. F. Gavidia Garcia, "Título : ' Estudio y Diseño de un Ciclón para el Control de Partículas para una Empresa Productora de Libros en la ciudad de Guayaquil ' Title : " Study and Design of a Cyclone for the Control of particles for a Book Production Company in the city of Guay," 2020.
- [15] J. L. B. SANTOS, "Diseño y construcción de un separador ciclónico para la industria naval," *Univ. Austral Chile, Fac. Ciencias la Ing. Esc. Ing. Naval. Vald. Chile*, 2008.
- [16] E. G. Zapata Liberio, "Análisis de factibilidad para la implementación del diseño de un sistema de extracción de material articulado del área de sistema de ensacado de una planta cementera." Espol, 2015.
- [17] R. D. Delgado and F. K. Saavedra, "Analisis Cuantitativo de la compentencia en el mercado colombiano de arroz blanco." Bogota, 2016.
- [18] R. Parra Vega and G. E. Galarcio Lopez, "Criterios de Buenas Practicas de Manufactura (BPM) en Empresa Molinera de Arroz," 2020.
- [19] C. Najar and J. A. Merino, "Mejoras en el proceso productivo y modernización mediante sustitución y tecnologías limpias en un molino de arroz," *Ind. Data*, vol. 10, no. 1, pp. 22–32, 2007.
- [20] Keplerweber, "Una empresa para confiar el tratamiento de los granos," 2020.
- [21] S. T. E. O. Iv, "Horno Quemador De Biomasa * Cascarilla De Arroz *," 2006.
- [22] X. Zhang and Q. Wang, "Emission characteristics of biomass combustion under oxyfuel conditions," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 40, no. 6, pp. 688–692, 2018, doi: 10.1080/15567036.2018.1454550.
- [23] P. Alcocer Quinteros, "Diseño y simulación de una máquina trilladora de arroz que sea factible para el pequeño agricultor, en el Cantón Quevedo, Provincia de los Ríos." Grupo Compas Compás-Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 2020.
- [24] C. CENGEL and D. MECANICA, "FLUIDOS fundamentos y aplicaciones." Mc. Graw Hill, 2006.
- [25] Y. Guanutaxi and J. Gustavo, "Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga en tuberías y accesorios," 2012.

- [26] Y. A. Cengel and M. A. Boles, *Termodinámica (8a. McGraw Hill Mexico, 2015.*
- [27] R. L. Mott, "Mecánica de Fluidos - 6ta Edición - Robert L. Mott," vol. 6, 2006.
- [28] E. P. Scott, "Merle C. Potter," *Innovación Educ.*, vol. 6, no. 31, p. 73, 2006.
- [29] G. M. BELLO, "OBTENCIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA LOS COEFICIENTES DE PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS HIDRÁULICOS." INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO "JOSÉ ANTONIO ECHEVERRÍA, 2012.
- [30] J. R. Calderón Córdova and C. X. Pozo Calva, "Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para Pérdidas de Carga en Tuberías y Accesorios con Simulación." 2011.
- [31] Soler & Palau, "Manual práctico de Ventilación," *Real Farm. Española I Tomo. Madrid*, vol. 1, p. 347, 1997, [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Sistemas+d e+Ventilaci?n#8>.
- [32] H. Ac. ACGIH, "Industrial ventilation: a manual of recommended practice for design," 2013.
- [33] N. R. Barahona Suxe, "Propuesta de un sistema de aspiración localizado, para la extracción de material particulado de la cascarilla de arroz en el área de secado de la Empresa Induamérica Trade SA San Rafael–Bellavista–San Martín.," 2019.
- [34] J. C. N. Burgos, Á. M. B. Riascos, L. Y. S. Bacca, and D. F. Y. Villota, "Control de material particulado generado por corte de aglomerado, implementando sistema de filtro de mangas," *Boletín Inf. CEI*, vol. 6, no. 1, pp. 86–88, 2019.
- [35] Iris Silva Castro, "TECNOLOGÍAS DE MITIGACIÓN DE EMISIONES EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS A CARBÓN." <https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno10/mitigacion/Filtro de Manga-MP.html>.
- [36] R. Araque Torres, "Manual de procedimiento para el diseño de un sistema de extracción focalizada para la captación de material particulado," 2021.
- [37] D. P. Pilamunga Rigchag, "Diseño de un sistema de absorción de polvos para la planta de pisos de la empresa Ecuacerámica de la ciudad de Riobamba." Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019.
- [38] R. L. Wabeke, "Contaminantes del aire y ventilación de higiene industrial: un manual de cálculos prácticos, problemas y soluciones . Routledge.," *Contam. del aire y Vent. Hig. Ind. un Man. cálculos prácticos, Probl. y soluciones . Routledge.*, 1998.

- [39] G. E. Lobato Freire and ángel F. Catillo Castillo, "Diseño y contruccion de un separador ciclónico de entrada tangencial y descarga axial para material particulado de tamaño menor a 40 milimicras.," p. 12, 2015.
- [40] F. P. Beer, E. R. Johnston, J. T. DeWolf, and D. F. Mazurek, "Mecánica de materiales," Mc Graw Hill, 2010.
- [41] L. Á. Buchelli Carpio, "Diseño fluidodinámico de un sistema de extracción de polvo en un ingenio azucarero." 2004.
- [42] ENERCA S.A. E.S.P, "ENERGIAS LLANERA," 2022, [Online]. Available: <https://www.enerca.com.co/clientes/tarifas/energia/>.
- [43] E. Fernández, "Mejoras en la eficiencia de los colectores de polvo tipo Jet Pulse y precipitador electrostático." tesis de pregrado, 2013.
- [44] I. F. N. A and D. C. Bogotá, "Memorias de presentación en PTP FLUID & PIPE INGENIERIA," 2018.

9. ANEXOS

9.1 ANEXO 1

ESTUDIOS DE CALIDAD DE AIRE

**ESTUDIO DE CALIDAD DEL CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE
INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS**

AGUAZUL - CASANARE



INFORME DE RESULTADOS INF_AIRE_19247

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS

**REALIZADO POR MUNDO AMBIENTAL CONSULTORES
DICIEMBRE DE 2019**

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

INFORMACION GENERAL

CLIENTE	Sergio Alfonso Vesga Ballesteros
NIT	91.253.111-6
PROYECTO	Molino Procecas
UBICACION	Km 2 Via Aguazul – Yopal, municipio de Aguazul, departamento de Casanare
LICENCIAMIENTO AMBIENTAL	Resolución No. 200.41.10-1411 de Octubre 08 de 2010, otorgada por CORPORINOQUIA
INFORMACION DEL MONITOREO	
TIPO DE MONITOREO	CALIDAD DE AIRE
FECHA DE MONITOREO	26 hasta el 29 de noviembre de 2019
PUNTOS DE MONITOREO	2 Puntos Número de muestras estación 1 (7781-7783-7784) Número de muestras estación 2 (7785-7786-7787)
ACREDITACION	MUNDO AMBIENTAL CONSULTORES S.A.S. RESOLUCION 3181 DEL 27 DE DICIEMBRE DE 2018

NOTAS

- Este documento y su contenido son propiedad intelectual MUNDO AMBIENTAL CONSULTORES S.A.S y sus resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en este documento. No divulgar, usar o reproducir sin autorización escrita del representante legal del Laboratorio.
- Los resultados a los que hace referencia en el presente informe, corresponden únicamente a las mediciones realizadas en la(s) fecha(s) y hora(s) en que fueron desarrolladas las actividades de monitoreo
- El plazo límite para cualquier observación sobre el contenido de este informe técnico, es de 10 días calendario contados a partir de la fecha de entrega de este al cliente.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	OBJETIVOS	6
2.1.	OBJETIVO GENERAL	6
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
3.	GENERALIDADES	7
3.1.	MARCO NORMATIVO	7
3.2.	CONTAMINANTES EVALUADOS.....	8
3.3.	METODOS DE REFERENCIA	9
3.4.	DEFINICIONES.....	23
4.	DESARROLLO METODOLOGICO	12
4.1.	MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIPOS DE MUESTREO	12
4.2.	PREPARACIÓN DEL MONITOREO.....	12
4.3.	ETAPA DE CAMPO.....	12
4.4.	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	15
4.5.	ANÁLISIS DE DATOS Y EMISIÓN DE RESULTADOS	15
5.	DESARROLLO DE MONITOREO	19
5.1	METEREOLOGIA.....	20
5.2	LOCALIZACION Y DESCRIPCION DE ESTACION DE MONITOREO.....	21
5.3	IDENTIFICACION DE FUENTES DE EMISION DE CONTAMINANTE.....	24
5.4.	VALIDACION DE LAS MUESTRAS.....	24
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	24
	MATERIAL PARTICULADO (PM ₁₀)	24
	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA)	26
7.	CONCLUSIONES.....	27
8.	BIBLIOGRAFÍA	28
	ANEXOS	29

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Estándares máximos permisibles de niveles de inmisión, expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, según la Resolución 2254 del 01 de Noviembre de 2017.</i>	8
Tabla 2. <i>Características de los compuestos estudiados.</i>	8
Tabla 3. <i>Métodos de referencia.</i>	9
Tabla 4: <i>Resumen de los criterios de micro localización.</i>	13
Tabla 5. <i>Puntos de corte del ICA</i>	18
Tabla 6. <i>Banderas de Validación de Datos</i>	19
Tabla 7. <i>Resumen de los parámetros meteorológicos registrados durante el monitoreo. AQURITE.</i>	21
Tabla 8: <i>Ficha Técnica Estación 1</i>	22
Tabla 9: <i>Ficha Técnica Estación 2</i>	23
Tabla 10. <i>Validación de las muestras recolectados.</i>	24
Tabla 11. <i>Concentraciones de Material Particulado (PM_{10}) registradas en la estación 1.</i>	25
Tabla 12. <i>Concentraciones de Material Particulado (PM_{10}) registradas en la estación 2.</i>	26
Tabla 13. <i>Concentración (valores promedio $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de Material Particulado (PM_{10})</i>	26
Tabla 14: <i>ICA para PM_{10} Estación 1</i>	27
Tabla 15: <i>ICA para PM_{10} Estación 2</i>	27

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Temperatura Ambiente.</i>	20
Figura 2: <i>Velocidad del viento.</i>	20
Figura 3.: <i>Localización general de los puntos de monitoreo.</i>	21
Figura 4: <i>Comportamiento de Material Particulado (PM_{10}) frente a la norma local, en la estación 1 y 2.</i>	26

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

1. INTRODUCCIÓN

Las concentraciones de contaminantes del aire en un punto determinado dependen de la tasa de emisión a la atmósfera su dispersión y eliminación. La velocidad con que los compuestos del aire se dispersan, depende directamente de factores meteorológicos, como la velocidad y dirección del viento, turbulencia y estabilidad atmosférica, además de otros factores físicos como la humedad relativa, temperatura y presión

Con el fin de establecer la calidad del aire en la zona de influencia del MOLINO PROCECAS ubicado en cercanías del municipio de Aguazul departamento del Casanare, el cliente **SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS**, contrató los servicios de **MUNDO AMBIENTAL CONSULTORES S.A.S** para la realización del monitoreo en dos (2) estaciones, determinando las concentraciones del contaminante: Material Particulado (PM10) de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS) y la Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 expedida por el mismo ente.

El presente informe relaciona las actividades desarrolladas entre el 26 hasta el 29 de noviembre de 2019, así como las condiciones climáticas durante este periodo de tiempo como herramienta de análisis para comprender el comportamiento de los contaminantes en el ambiente, además de la comparación de los resultados obtenidos en el área de interés con la normatividad ambiental vigente.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Medir y evaluar la calidad del aire en el área de influencia del Molino PROCECAS ubicado en municipio de Aguazul en el departamento de Casanare, de acuerdo con lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire y la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las concentraciones de Material Particulado (PM_{10}) en dos (2) estaciones ubicadas en el área de influencia del Molino Procecas.
- Comparar los resultados obtenidos a partir del trabajo de campo y de laboratorio, con los valores permisibles de las normas vigentes establecidas en la legislación colombiana.
- Determinar los Índices de calidad de aire - ICA, teniendo en cuenta los lineamientos estipulados en la Resolución 2254 de 2017 expedida por MADS

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

3. GENERALIDADES

En este capítulo se describe el marco normativo aplicable, la definición de los contaminantes a analizar y algunas definiciones de términos que serán usados a lo largo del informe.

3.1. MARCO NORMATIVO

Colombia, en materia de calidad del aire, dentro del contexto legal inicia con la expedición por parte de la Presidencia de la República, del Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974, el cual en su Artículo 75, Parte II, Capítulo II, perteneciente al Título VII, en el que expresa la necesidad de implementar medidas de prevención, control y mitigación de la calidad del aire.

Posteriormente, es emitido el Decreto 02 del 11 de enero de 1982, expedido por el Ministerio de Salud, hoy Ministerio de la Protección Social, el cual busca solucionar los problemas de salud pública por contaminación atmosférica.

Siguiendo la cronología legal, con la expedición de la Constitución Nacional de 1991, la cual establece en los Artículos 79 y 80 del Capítulo III que “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo” y “Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”, se da mayor rigor legal a la calidad del aire como parte del ambiente.

Mediante la emisión de la Ley 99 de 1993 se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, encargando a las autoridades ambientales de ejercer la evaluación, control, y seguimiento ambiental de los usos del agua, suelo, aire y demás recursos renovables; se dictan otras disposiciones.

En 1995 el Ministerio de Medio Ambiente en conjunto con la Presidencia de la República estableció la norma marco para el componente aire a través del Decreto 948 junto con su modificación mediante el Decreto 979 de 2006, en donde se pautó las bases normativas para la calidad del aire, las cuales fueron reglamentadas por la Resolución 601 de 2006 y su consecuente modificación mediante la Resolución 610 de 2010 y de nuevo la modificación con la Resolución 2254 del 2017; fijando en el Artículo Segundo los límites máximos de inmisión para todo el territorio nacional, los cuales se muestran en la **Tabla 1**.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

En el parágrafo 1, artículo 2 de la Resolución 2254 del 2017, establece que a partir del 1 de julio para PM₁₀ en un tiempo de exposición de 24 horas el nivel permisible pasara de 100 µg/m³ a 75 µg/m³.

Tabla 3-1: Estándares máximos permisibles de niveles de inmisión, expresados en µg/m³, según la Resolución 2254 del 01 de Noviembre de 2017.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESOLUCION 2254 / 2017
MATERIAL PARTICULADO (PM₁₀)		
Anual	µg/m ³	50
24 horas	µg/m ³	75

* Condiciones de Referencia. (25°C y 760 mm Hg).

De conformidad con la protección del componente atmosférico, el artículo 49 de la Ley 99 de 1993 consagró la obligatoriedad de la Licencia Ambiental para la ejecución de obras, el establecimiento de industrias o el desarrollo de cualquier actividad que, de acuerdo con la ley y los reglamentos, pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje. De esta manera, se emite el decreto 2820, mediante el cual se reglamenta el título VIII de la Ley 99 de 1993, sobre licencias con el objetivo de fortalecer el proceso de licenciamiento ambiental, la gestión de las autoridades ambientales y promover la responsabilidad ambiental en áreas de la protección del medio ambiente.¹

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible emite el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad de aire, adoptado por la Resolución 650 del 29 de marzo de 2010 y modificada por la Resolución 2154 del 2 de noviembre de 2010, mediante el cual se establecen las directrices, metodologías y procedimientos necesarios para llevar a cabo las actividades de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire en el territorio nacional.²

3.2. CONTAMINANTES EVALUADOS

El estudio de calidad del aire permitirá evaluar las concentraciones del parámetro Material Particulado (PM₁₀). En la **Tabla 2** se resume las características más importantes de los contaminantes estudiados, incluyendo su descripción y sus posibles efectos sobre el medio ambiente y la salud humana.

¹Ibíd. P. 1.

²Resolución 650 de 2010. Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia. 29 de marzo de 2010.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

Tabla 2: Características de los compuestos estudiados.

CONTAMINANTE	DESCRIPCIÓN	ORÍGENES	POSIBLES EFECTOS
Material Particulado (PM10)	El material particulado se presenta de diversas formas, tamaño y propiedades, pueden ser desde pequeñas gotas de líquido a partículas microscópicas de polvo. Las partículas también dependen del tipo de fuentes, entre los cuales se encuentran las fuentes industriales y las fuentes naturales. La magnitud de las partículas atmosféricas cubre órdenes desde decenas de angstroms (Å) hasta varios cientos de micrómetros. Las partículas de menos de 2,5 µm en diámetro (PM_{2.5}) generalmente se refieren como "finas" y las mayores a 2,5 µm como gruesas. Los modos de partículas gruesas y finas, en general, se originan separadamente, se transforman separadamente, son removidas de la atmósfera por diferentes mecanismos, requieren diferentes técnicas para su remoción de las fuentes, tienen diferente composición química.	- Construcción. - Combustión - Fuentes naturales (incendios forestales y volcanes)	- Lesiones pulmonares (daño sistema mucociliar). - Irritación ocular. - Daño a los cultivos. - Aumento de la turbidez atmosférica y reduce la visibilidad. - Tiñen edificios y monumentos

Fuente: MAC SAS.

3.3. MÉTODOS DE REFERENCIA

Los métodos de referencia utilizados para el muestreo y análisis de laboratorio de cada uno de los parámetros están establecidos por la US-EPA y adoptados por el Ministerio de Ambiente. En la **Tabla 3** se presenta el método y equipo utilizado para evaluar cada parámetro.

Tabla 3: Método de referencia

Parámetro	Método de referencia	Equipo de muestreo
PM ₁₀	EPA e- CFR 40, Capítulo 1, Sub-capítulo C, Parte 50, Apéndice J-Alto volumen.	Muestreador de alto volumen

Fuente: MAC SAS. 2019.

3.4. DEFINICIONES

Aire: Fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos 20% de oxígeno, 77% de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

Área-Fuente: Es una determinada zona o región, urbana, suburbana o rural, que, por albergar múltiples fuentes fijas de emisión, es considerada como un área especialmente generadora de sustancias contaminantes del aire.

Atmósfera: Es la capa gaseosa que rodea a la Tierra.

Concentración de una Sustancia en el Aire: Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

Condiciones de Referencia: Son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25 °C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión).

Contaminación Atmosférica: Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

Contaminantes: Fenómenos físicos o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.

Emisión: Descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.

Episodio o Evento: Es la ocurrencia o acaecimiento de un estado tal de concentración de contaminantes en el aire que, dados sus valores y tiempo de duración o exposición, impone la declaratoria por la autoridad ambiental competente, de alguno de los niveles de contaminación, distinto del normal.

Fuente de Emisión: Actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire

Fuente Fija: Fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

Fuente Móvil: Es la fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza.

Inmisión: Transferencia de contaminantes de la atmósfera a un "receptor". Se entiende por inmisión a la acción opuesta a la emisión. Aire inmiscible es el aire respirable a nivel de la troposfera.

Media Móvil: Se calcula del mismo modo que el promedio aritmético para una cantidad n de datos y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, partiendo del último dato agregado y manteniendo siempre el número de datos correspondiente a la cantidad definida.

Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión: Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

Nivel Normal (Nivel I): Es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.

Nivel de Prevención (Nivel II): Es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.

Nivel de Alerta (III): Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.

Nivel de Emergencia (IV): Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración puede causar enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.

Promedio Aritmético: Es la sumatoria de todos los datos a promediar, dividido por el número total de datos.

Promedio Geométrico: Es la raíz enésima del producto de todos los datos a promediar. Para su cálculo se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$G = \sqrt[n]{X1 * X2 * X3 \dots Xn}$$

Donde:

G: Promedio Geométrico

X1 * X2 * X3* *Xn: Datos a promediar

Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire: Conjunto de equipos de medición de calidad del aire instalados sistemáticamente para verificar el cumplimiento de uno o varios de los objetivos de vigilancia de calidad del aire previstos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

Sustancias Peligrosas: Son aquellas que aisladas o en combinación con otras, por sus características infecciosas, tóxicas, explosivas, corrosivas, inflamables, volátiles, combustibles, radiactivas o reactivas, pueden causar daño a la salud humana, a los recursos naturales renovables o al ambiente.

Tiempo de Exposición: Es el lapso de duración de un episodio o evento de contaminación.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

4. DESARROLLO METODOLÓGICO

El estudio de calidad del aire se desarrolló fundamentado en los lineamientos que establece el Protocolo de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire expedido por el Ministerio de Ambiente, y acorde con los métodos de la *Environmental Protection Agency* de los Estados Unidos (US-EPA). El monitoreo se desarrolló en cuatro (4) etapas: preparación, fase de campo, ensayos de laboratorio y el análisis de datos y emisión de resultados.

4.1. PREPARACIÓN DEL MONITOREO

Esta etapa involucró las siguientes actividades:

- Selección de los puntos a muestrear: se establecieron de acuerdo al área de estudio teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del Protocolo de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire.
- Preparación de material: equipos e insumos requeridos para el monitoreo (Equipo Hi Vol)
- Disposición de transporte adecuado para los equipos: de acuerdo al tipo de equipo y controles para evitar daños.
- Calibración y Verificación de los equipos para los análisis in-situ: se revisó y verificación de los equipos de muestreo de acuerdo al procedimiento interno de control de equipos.
- Rotulación y empaque.

4.2. ETAPA DE CAMPO

La fase de campo contempla actividades como la instalación de equipos, el muestreo in-situ y la recolección de muestras y envío al laboratorio.

4.2.1. Ubicación e Instalación de las estaciones de monitoreo

Inicialmente, el equipo de profesionales realiza un reconocimiento de la zona de estudio con el propósito de coordinar la logística y el desarrollo del proyecto, así como la definición de los puntos más representativos para la distribución de los equipos de muestreo. Una vez realizada dicha tarea, se procedió a la ubicación y posterior verificación de los equipos a emplear en el monitoreo, teniendo en cuenta los criterios técnicos de micro localización contemplados en el Numeral 6.4 del

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire) del MAVDT hoy MADS³ (**ver Tabla 4**).

Tabla 4: Resumen de los criterios de micro localización.

CRITERIO	ITEM	OBSERVACIÓN
TÉCNICO	Condiciones de seguridad	Se debe velar por la seguridad de los equipos de monitoreo, para dar continuidad y garantía a la medición.
	Exposición de los toma-muestras y sensores	Los muestreadores y sensores se ubicarán teniendo en cuenta la dirección del viento y la ubicación de las fuentes estudiadas, debido a que el viento debe dirigir los contaminantes al muestreador dando representatividad a la medición.
	Condiciones de logística	Los puntos de monitoreo deben poseer fluido eléctrico regulado y suficiente a demás de poder acceder fácilmente a ellas, para asegurar el mantenimiento, limpieza y operación de los equipos.
FÍSICOS	Cobertura	Se deberá abarcar la mayor área de estudio posible con el fin de realizar un muestreo representativo.
SOCIALES	Fuentes receptoras	Se localizarán las respectivas estaciones de monitoreo teniendo en cuenta la ubicación de caseríos, cascos urbanos y demás centros poblados

Fuente: Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. MAVDT. 2010.

4.2.2. Muestreo in-situ

Muestreo de Material Particulado (PM₁₀)

Para la ejecución de los muestreos se utilizó dos (2) para partículas de diámetro menor o igual a 10 micras (PM₁₀). Los equipos utilizados corresponden a los permitidos por el MAVDT hoy MADS, quien ha adoptado los autorizados por la EPA.

Muestreador (Medidor de Alto Volumen)

- Sus elementos vienen en forma de platillo para el PM₁₀ (esta caperuza protege el filtro de posibles lluvias).
- La cubierta de dicho muestreador debe cumplir con las siguientes características:
- Mantener el filtro en posición horizontal por lo menos a 1,5 m por encima de la superficie de soporte del muestreador, para que la muestra de aire sea aspirada verticalmente hacia abajo, a través del filtro.
- Cubrir y proteger el filtro de la lluvia y otros efectos perturbadores del muestreo.
- Dichos muestreadores constan de un motor succionador (capaz de operar en forma continua durante 24 horas), un portafiltro soportado por una superficie de la caseta de aluminio, un dispositivo para la medición del flujo el cual puede estar o no incorporado al

³Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE. Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Bogotá. Noviembre 2010.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

medidor (para el presente estudio se utilizó un registrador de flujo con la posibilidad de medir entre 0,57 y 1,7 m³/min), un dispositivo de control del tiempo y un controlador de flujo.

Preparación de los Filtros

Los filtros fueron inspeccionados a contra luz para detectar posibles orificios o imperfecciones (se descartan aquellos agujereados). Posteriormente, se mantienen por 24 horas en condiciones ambientales controladas (en el desecador) para ser pesados en la balanza analítica, aproximando al miligramo más cercano; se anota su peso neto junto con el número del filtro. Los filtros se enumeran en dos (2) orillas opuestas de la cara que no va a ser expuesta.

Filtro PST⁴ y PM10⁵

- Material: fibra de vidrio u otro material inerte y no higroscópico.
- Tamaño 20,3±0,2 x 25,4±0,2 cm (nominal 8x10 pulg).
- Área nominal expuesta de 406,5 cm² (63 pulg²)
- Eficiencia de recolección: mínimo 99% como medida de la prueba de DOP (ASTM-2986) para partículas de 0,3 µm de diámetro.
- pH: de 6 a 10.
- Integridad: 2,4 mg como máxima pérdida de peso.
- Perforaciones: ninguna.
- Fragilidad: cuando se hace un doblez longitudinal no debe presentarse rajadura o separación del material.
- Material: fibra de cuarzo u otro material inerte y no higroscópico.
- Tamaño 20,3±0,2 x 25,4±0,2 cm (nominal 8x10 pulg).
- Área nominal expuesta de 406,5 cm² (63 pulg²)
- Integridad: +5 µg/m³ (asumiendo el volumen nominal de una muestra de aire de 24 horas en el muestreador).
- Eficiencia de recolección: mayor o igual a 99% como medida de la prueba de DOP (ASTM-2986) para partículas de 0,3 µm de diámetro, a la velocidad de operación del muestreador.
- Perforaciones: ninguna.
- Fragilidad: cuando se hace un doblez longitudinal no debe presentarse rajadura o separación del material.

⁴ Fuente: Método de referencia para la determinación de material particulado suspendido (PST) en la atmósfera (Método de alto volumen) Versión 1.0. IDEAM 2010.

⁵ Fuente: Método de referencia para la determinación de material particulado menos a 10µm (PM₁₀) en la atmósfera -Muestreador de alto volumen Versión 1.0. IDEAM 2010.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

4.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los análisis de PM₁₀, se realizaron en el laboratorio de MUNDO AMBIENTAL CONSULTORES S.A.S., el cual está acreditado ante el IDEAM para el análisis de estos parámetros.

4.4. ANÁLISIS DE DATOS Y EMISIÓN DE RESULTADOS

En esta etapa se realizó el tratamiento de la información y de los resultados suministrados por el laboratorio que realizó los ensayos, con el objeto de determinar las concentraciones de los contaminantes evaluados en la atmósfera conforme al flujo de operación de cada equipo de muestreo. Posteriormente, se realizó una evaluación estadística de los resultados obtenidos y se elaboró el respectivo informe de interpretación de resultados y evaluación de cumplimiento normativo.

4.4.1. Partículas en Suspensión (PST/PM10)

Para determinar la concentración diaria de partículas en suspensión se utiliza la siguiente expresión:

$$C_{ps} = \frac{(P_f - P_i) * 10^6}{Q_{Real} * t}$$

Dónde:

- C_{ps} = Concentración de partículas en suspensión, en µg/m³.
P_f = Peso final del filtro en gramos.
P_i = Peso inicial del filtro en gramos.
Q_{real} = Caudal de aire a través del filtro (caudal promedio corregido leído en el rotámetro, en m³/min).
t = Tiempo de muestreo en minutos.
10⁶ = Factor de conversión de gramos a microgramos.

4.4.2. Evaluación estadística

Para determinar la consistencia de los datos a obtener, se realizaron los cálculos y gráficos mencionados en el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de La Calidad del Aire del Protocolo para El

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire de Noviembre de 2010 del MAVDT hoy MADS páginas 112 y 113.

4.4.3. Corrección de datos a condiciones de referencia

La corrección de los resultados de concentración obtenidos se realiza con el fin de comparar los datos con los límites permisibles descritos en la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente, dado que en la norma se establecen dichos límites a condiciones de referencia para temperatura y presión, es decir, 25 °C y 760 mmHg respectivamente. Para ello se utiliza la ecuación mencionada en la NTC 3704, de la siguiente manera:

$$DR = \frac{DL * 760 * (273 + TL^{\circ}C)}{PbL * 298K}$$

Dónde:

- DL = Datos obtenidos en campo a condiciones locales.
- DR = Datos obtenidos en campo a condiciones de referencia.
- P.b.L = Presión barométrica local (mm de Hg).
- T L = Temperatura promedio ambiente local (°C).

4.4.4. Determinación del Índice de calidad del aire (ICA)

El Índice de Calidad del Aire -ICA- (AQI – Air Quality Index) es un valor adimensional que oscila entre cero 0 y 500, el cual representa una de las herramientas más efectivas para la simple interpretación del estado en que se encuentra una atmósfera previamente monitoreada. El comportamiento de un ICA se caracteriza por su relación directa con los niveles de concentración del contaminante y los efectos en la salud. Este indicador fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y en su última publicación de 2009 incluye seis contaminantes: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), partículas menores de 10 micras (PM₁₀), partículas menores de 2,5 micras (PM_{2,5}) y Ozono (O₃).

Teniendo en cuenta que el ICA tiene una correlación directa con los efectos en la salud, los puntos de corte del ICA son los límites correspondientes a efectos entre la salud y la calidad del aire. En este caso, se utiliza la información reportada por la EPA que presenta dichas relaciones. En la **Tabla**

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

4-2 se presentan los puntos de corte del ICA, de acuerdo con los efectos sobre la salud reportados por estudios de la EPA (2005).⁶

Tabla 4-2: Puntos de corte del ICA.

Indice de Calidad del Aire		Puntos de Corte del ICA						
ICA	Categoría	PM ₁₀ 24h	PM _{2.5} 24h	CO 8h	SO ₂ 1h	NO ₂ 1h	O ₃ 8h	O ₃ 1h
0	Buena	0	0	0	0	0	0	
50		54	12	5094	93	100	106	
51	Aceptable	55	13	5095	94	101	107	
100		154	37	10819	197	189	138	
101	Dañina a la salud de grupos sensibles	155	38	10820	198	190	139	245
150		254	55	14254	486	677	167	323
151	Dañina a la salud	255	56	14255	487	678	168	324
200		354	150	17688	797	1221	207	401
201	Muy dañina a la salud	355	151	17689	798	1222	208	402
300		424	250	34862	1583	2349	393	794
301	Peligrosa	425	251	34863	1584	2350	394	795
500		604	500	57703	2629	3853		1185

Fuente: Resolución 2254 de 2017. MADS.

El ICA será calculado a partir de la siguiente ecuación, que corresponde a la metodología utilizada por la EPA para el cálculo del AQI y será reportado el mayor valor que se obtenga del cálculo de cada uno de los contaminantes medidos.

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Dónde:

I_p = Índice para el contaminante p

C_p = Concentración medida para el contaminante p

BP_{Hi} = Punto de corte mayor o igual a CP

BP_{Lo} = Punto de corte menor o igual a CP

I_{Hi} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Hi}

I_{Lo} = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al BP_{Lo}

⁶Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE. Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Bogotá. Noviembre de 2010

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

4.4.5. Validación De Datos

Siguiendo lo establecido en el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, emitido por el MAVDT, es necesario realizar una validación de los datos recolectados durante una campaña de monitoreo de calidad del aire dada la cantidad de información que puede llegar a ser recolectada, de manera tal que sea posible identificar si hay datos incorrectos. Por esta razón es necesaria la depuración de la información recolectada en capo y analizada en el laboratorio antes de que esta sea enviada a la autoridad ambiental nacional. En la tabla 6 se presentan los controles o banderas que se utilizan para determinar en los diferentes Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) son válidos o no para su análisis.

Tabla 6. Banderas de Validación de Datos

BANDERA	VALIDEZ	DESCRIPCIÓN
C	N	DATO PERTURBADO POR CALIBRACIÓN
S	N	DATO PERTURBADO POR CALIBRACIÓN DE SPAN
Z	N	DATO PERTURBADO POR CALIBRACIÓN DE ZERO
M	N	DATO ERRÓNEO POR RAZÓN DESCONOCIDA
D	N	DATO ERRÓNEO POR FALLO TÉCNICO
T	N	DATO QUE NO HA SUFRIDO EL PROCESO DE VALIDACIÓN ADECUADO
#	N	DATOS INSUFICIENTES
B	N	MAL ESTADO EXTERNO
E	N	FALLO ELÉCTRICO
F	N	FALLO EN LA CORRIENTE ELÉCTRICA
!	N	SEÑAL FUERA DE RANGO
H	N	VALOR DE PRUEBA
P	N	PROCESO DE PURGA DEL EQUIPO
V	S	DATO VÁLIDO
O	S	DATO CORREGIDO
R	S	DATO RECONSTRUIDO
<	S	FALTA DE DATOS
^	S	VALOR ALTO DEL EQUIPO
_	S	VALOR BAJO DEL EQUIPO
/	S	CAMBIO BRUSCO DE LA CONCENTRACIÓN

Fuente: Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, MAVDT.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

5. DESARROLLO DEL MONITOREO

5.1. METEOROLOGIA

El clima es un sistema complejo relacionado con los factores atmosféricos, climáticos, ambientales y geográficos. Existen factores que influyen sobre las condiciones climáticas entre los cuales se encuentran la latitud geográfica, la altitud de un lugar específico, la orientación del relieve con respecto a la dirección y a la incidencia de los rayos solares, así como la dirección y velocidad de los vientos. El análisis climatológico dentro del contexto del presente estudio está orientado a conocer la dinámica general de los parámetros climáticos en la zona de estudio a fin de suministrar criterios que permitan evaluar los efectos sobre el área del proyecto, dado que la dispersión, transporte y concentración de los contaminantes emitidos a la atmósfera por las diferentes fuentes fijas y móviles dependen principalmente de factores climáticos, meteorológicos y geomorfológicos.

5.5.1. FUENTE DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

La información meteorológica se obtuvo de los datos recolectados durante la realización del monitoreo (in situ) y a partir de la información recopilada por la estación meteorológica ubicada en la zona de estudio

5.5.2. METEOROLOGIA ZONA DE ESTUDIO

Los datos de las variables meteorológicas evaluadas en la zona de estudio se presentan en la Tabla 7, a modo de resumen. Se muestra los promedios diarios de cada factor climático para los tres (3) días de monitoreo.

La temperatura ambiente es la medida de la magnitud del calor ocasionada por la radiación solar sobre la atmósfera o sobre la tierra, los valores reportados entre 30,4 °C hasta 31,5°C, siendo temperaturas acordes al área de estudio.

En términos de precipitación no se presentaron precipitaciones según la captura de datos de la estación meteorológica.

Finalmente, el viento es un elemento del clima de influencia en resuspender el material particulado. La velocidad del viento registró un máximo de 2,11 m/s, lo cual considera la re suspensión del material particulado.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

Tabla 7: Resumen de los parámetros meteorológicos registrados durante el monitoreo.

Fecha	Precipitación	Temperatura	Humedad Relativa	Presion Atmosferica	Velocidad del Viento
	(mm)	(°C)	(%)	(mmHg)	(m/s)
26/11/2019	0,00	31,2	69,93	730,4	2,11
27/11/2019	0,00	31,5	74,98	730,4	1,99
28/11/2019	0,00	30,4	75,49	730,4	1,94

Fuente: MACSAS 2019

5.2. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DE ESTACIONES DE MONITOREO

El área evaluada se encuentra ubicada en el departamento de Casanare, en inmediaciones del municipio de Aguazul, con el fin de abarcar la zona de influencia del proyecto y determinar las posibles afectaciones que allí se puedan presentar, para ello se definieron dos (2) puntos de monitoreo teniendo en cuenta los criterios establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de La Calidad del Aire.

Figura 1.: Localización general de los puntos de monitoreo



Fuente: Google Earth 2019.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

Las fichas técnicas que se muestran a continuación describen de manera detallada las características, localización, criterios de ubicación de las estaciones de monitoreo y los equipos de muestreo y calibración utilizados para cada uno de los parámetros evaluados.

TabLa 8: Fcha Técnica Estación 1

ESTACIÓN 1 - COSTADO NORORIENTAL DE LAS INSTALACIONES DEL MOLINO (AREA DE SILOS DE ALMACENAMIENTO DE ARROZ)					
(UBICACIÓN)					
CIUDAD:	AGUAZUL	COORDENADAS GEOGRÁFICAS:		05°11'5,4"N	72°32'49,9"W
DEPARTAMENTO:	CASANARE				
BARRIO - VEREDA:	ZONA RURAL	PRESIÓN ATM:	736 mmHg	ALTITUD:	315 msnm
CRITERIOS DE UBICACIÓN:	• Fácil acceso a los quipos. Exposición idónea de las muestras. Evaluación de la posible influencia de las actividades desarrolladas en la zona. • Dar alcance y cubrimiento al área de estudio. • Se considera los receptores más cercanos de emisión los cuales corresponden a las Vivienda más cercanas.				
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO					
Este punto se encuentra ubicado en cercanías del área de silos de almacenamiento de arroz. Entre las fuentes que se puede afectar la calidad del aire se encuentra la vía sin pavimentar por donde ingresan de manera esporádica los vehículos de carga de arroz empacado o cascarilla del arroz. Se realizaron las actividades normales dentro de la planta durante la ejecución del monitoreo.					
REGISTRO FOTOGRÁFICO					
					
EQUIPOS DE MONITOREO					
EQUIPO		PARÁMETRO EVALUADO		CALIBRACIÓN	
Muestreador de alto volumen (Hi-Vol)		Material Particulado (PM10)		Calibrador Variflow EQ 021	

Fuente: MAC SAS, 2019.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

Tabla 3-5: Ficha Técnica Estación 2

ESTACIÓN 2 – COSTADO SUROCCIDENTAL DE LAS INSTALACIONES DEL MOLINO (ABAJO DEL AREA DE DESCARGUE DEL ARROZ PADDY)					
UBICACIÓN					
CIUDAD:	AGUAZUL	COORDENADAS GEOGRÁFICAS:		05°11´0,4"N	72°32´51,2"W
DEPARTAMENTO:	CASANARE				
BARRIO - VEREDA:	ZONA RURAL	PRESIÓN ATM:	737,4 mmHg	ALTITUD:	298 msnm
CRITERIOS DE UBICACIÓN:	• Fácil acceso a los quipos. Exposición idónea de las muestras. Evaluación de la posible influencia de las actividades desarrolladas en la zona. • Dar alcance y cubrimiento al área de estudio. • Se considera los receptores más cercanos de emisión los cuales corresponden a las fincas más cercanas.				
DESCRIPCIÓN DEL PUNTO					
Este punto se encuentra ubicado en cercanías a las áreas de descargue de arroz paddy, el ingreso de vehículos de carga a las instalaciones es esporádico, por otro lado, a unos 100 metros aproximadamente se ubica la vía marginal de la selva en la cual el paso de vehículos es constante. Se realizaron las actividades normales dentro de la planta durante la ejecución del monitoreo..					
REGISTRO FOTOGRÁFICO					
					
EQUIPOS DE MONITOREO					
EQUIPO		PARÁMETRO EVALUADO		CALIBRACIÓN	
Muestreador de alto volumen (Hi-Vol)		Material Particulado (PM ₁₀)		Calibrador Variflow EQ 021	

Fuente: MAC SAS, 2019.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

5.3. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES

Las fuentes de emisión de partículas y gases son aquellas que generan contaminantes producto de la combustión de petróleo, gas, entre otros, procedentes en su mayoría de los automóviles e instalaciones industriales. Estas fuentes pueden ser móviles, que, como su nombre lo indica, son todos aquellos instrumentos, equipos u organismos que generan algún tipo de emisión y que trasladan su posición de un lugar a otro (vehículos, maquinaria pesada, etc), y fijas, cuyo foco de contaminación está siempre en un lugar específico.

Las observaciones realizadas detallan fuentes contaminantes con un nivel de incidencia no significativa por las actividades diarias ejecutadas en el molino Procecas, así como el tránsito esporádico de vehículos de carga del material a las instalaciones del molino, además del flujo de vehículos por la vía marginal de la selva.

5.4. VALIDACION DE LA MUESTRAS

En la tabla 10 se presenta el resultado de la validación de los resultados obtenidos

Tabla 10. Validación de las muestras recolectados

Día	Estación 1	Estación 2
1	V	V
2	V	V
3	V	V

V: Dato Válido

Fuente: MAC SAS, 2019

Durante el desarrollo del monitoreo de calidad del aire no se presentaron fallas en el suministro de energía o alguna situación que hubiera generado la invalidación de alguna muestra, por lo que el 100% de las muestras tomas y analizadas son válidas.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos en la evaluación de calidad del aire para el parámetro PM₁₀ en dos (2) estaciones de muestreo ubicadas en el área de influencia del proyecto del Molino Procecas, se comparan con las normas de calidad de aire establecidas en la Resolución 2254 de 2017, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

MATERIAL PARTICULADO (PM₁₀)

Los resultados de la determinación de material particulado (PM₁₀), presentaron valores promedios de 72,68 µg/m³ para la Estación 1 y 38,14 µg/m³ para la Estación 2, lo cual indica que en las estaciones monitoreadas las concentraciones reportadas son inferiores al límite permisible diario de 75 µg/m³ establecido en la Resolución 2254 de 2017, tal y como se evidencia en la **Tabla 13**.

Teniendo en cuenta las tablas que se presentan a continuación, los valores diarios de PM₁₀ registrados en la estación 1 y 2 no son significativos, por lo que no se considera una incidencia importante o un nivel de afectación sobre la calidad del aire en el área de influencia de las operaciones del Molino Procecas en estos puntos. Dichos resultados se asocian igualmente a las características geográficas y condiciones climatológicas de la zona presentadas durante el transcurso del monitoreo.

Tabla 11: Concentraciones de Material Particulado (PM₁₀) registradas en la estación 1.

MUESTRA No.	DÍA	TIEMPO DE OPERACIÓN							FLUJO CARTA		
		INICIAL			FINAL			TIEMPO HORÓMETRO (min)	INICIAL (pie3/min)	FINAL (pie3/min)	PROMEDIO (pie3/min)
		FECHA dd/mm/aa	HORA hh:mm	LECTURA HORÓMETRO	FECHA dd/mm/aa	HORA hh:mm	LECTURA HORÓMETRO				
7782	1	26/11/19	10:10	3736,77	27/11/19	09:30	3759,99	1.393	40,0	40,0	40,0
7783	2	27/11/19	09:35	3759,99	28/11/19	09:00	3783,33	1.400	40,0	38,0	39,0
7783	3	28/11/19	09:45	3783,33	29/11/19	09:00	3806,59	1.396	40,0	40,0	40,0

TEMP AMBIENTE PROMEDIO (°C)	CAUDAL OPERACIÓN Qa (m ³ /min)	CAUDAL ESTÁNDAR Q std (m ³ /min)	VOLUMEN ESTÁNDAR V std (m ³)	PESO FILTRO			CONCENTRACIÓN PM ₁₀ (µg/m ³)
				INICIAL (g)	FINAL (g)	MASA PM ₁₀ (g)	
31,1	1,1616	1,101	1533,7	4,5582	4,6824	0,1242	80,98
31,5	1,1288	1,068	1496,1	4,5617	4,6613	0,0996	66,57
30,4	1,1600	1,102	1537,8	4,5669	4,6753	0,1084	70,49

Fuente: MAC SAS 2019

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

Tabla 12: Concentraciones de Material Particulado (PM_{10}) registradas en la estación 2.

MUESTRA No.	DÍA	TIEMPO DE OPERACIÓN							FLUJO CARTA		
		INICIAL			FINAL			TIEMPO HORÓMETRO (min)	INICIAL (pie3/min)	FINAL (pie3/min)	PROMEDIO (pie3/min)
		FECHA dd/mm/aa	HORA hh:mm	LECTURA HORÓMETRO	FECHA dd/mm/aa	HORA hh:mm	LECTURA HORÓMETRO				
7785	1	26/11/19	11:00	1071,50	27/11/19	10:10	1094,58	1.385	40,0	40,0	40,0
7786	2	27/11/19	10:15	1094,58	28/11/19	09:45	1117,89	1.399	40,0	41,0	40,5
7787	3	28/11/19	10:20	1117,89	29/11/19	10:08	1141,66	1.426	40,0	40,0	40,0

TEMP AMBIENTE PROMEDIO (°C)	CAUDAL OPERACIÓN Qa (m3/min)	CAUDAL ESTÁNDAR Q std (m3/min)	VOLUMEN ESTÁNDAR V std (m3)	PESO FILTRO			CONCENTRACIÓN PM_{10} ($\mu g/m^3$)
				INICIAL (g)	FINAL (g)	MASA PM_{10} (g)	
32,1	1,2300	1,165	1613,3	4,5672	4,6026	0,0354	21,94
31,8	1,1897	1,128	1577,6	4,5672	4,6590	0,0918	58,19
31,7	1,1881	1,127	1607,3	4,5553	4,6104	0,0551	34,28

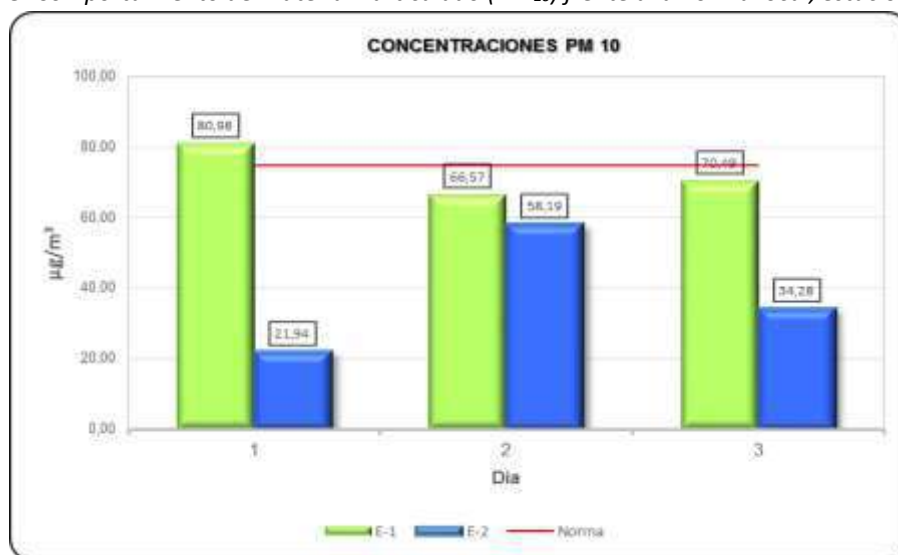
Fuente: MAC SAS 2019

Tabla 13: Concentración (valores promedios $\mu g/m^3$) de material Particula (PM_{10})

MATERIAL PARTICULADO (PM_{10})				
PUNTO DE MONITOREO	Promedio Aritmético	Límite permisible 24 h RES 2254 /2017($\mu g/m^3$)	Límite permisible Anual RES 2254 /2017($\mu g/m^3$)	Máxima Diaria
EST-1: COSTADO SUROCCIDENTAL	72,68	75	100	80,98
EST -2: COSTADO NORORIENTAL	38,14	75	100	58,19

Fuente: MAC SAS 2019

Figura 13: Comportamiento de Material Particulado (PM_{10}) frente a la norma local, estaciones 1 y 2.



Fuente: MAC SAS 2019

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA)

Por los resultados registrados y su respectiva comparación con los valores del ICA, el índice de calidad refleja para (PM₁₀) una calidad “Aceptable” durante los tres (3) días de monitoreo en la estación 1 y el segundo día de monitoreo de la estación 2 y buena para los días uno y tres de esta estación; por lo tanto, se consideran condiciones que no afectan la calidad del aire en la zona de influencia del proyecto en los puntos monitoreados.

Cabe resaltar que los resultados anteriores son un indicativo, y para conocer con certeza los efectos en la salud producidos por la contaminación atmosférica, se requiere establecer un programa de vigilancia epidemiológica.

Tabla 14: Comportamiento ICA para pm10 estación 1.

CALCULO ICA DEL PARAMETRO PM10, ESTACION No. 1					
DIA	BP _{HI}	BP _{LO}	I _{HI}	I _{LO}	ICA
1	154	55	100	51	91,45
2	154	55	100	51	83,95
3	154	55	100	51	88,12

Fuente: MAC SAS 2019.

Tabla 6-5: Comportamiento ICA para pm10 estación 2.

CALCULO ICA DEL PARAMETRO PM10, ESTACION No. 2					
DIA	BP _{HI}	BP _{LO}	I _{HI}	I _{LO}	ICA
1	54	0	50	0	20,32
2	154	55	100	51	79,8
3	54	0	50	0	31,75

Fuente: MAC SAS 2019

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

7. CONCLUSIONES

Los resultados del monitoreo de calidad de aire realizado en la zona de influencia del Molino Procecas, permiten concluir lo siguiente:

- La totalidad de las estaciones de calidad del aire presentan un porcentaje de 100 % de datos válidos, por lo cual todas las muestras tomadas son representativas.
- Los resultados de la evaluación del parámetro PM_{10} evidenciaron que las concentraciones reportadas estuvieron por debajo del límite máximo diario permitido en la norma correspondiente ($75 \mu g/m^3$) establecido en la Resolución 2254 de 2017 para los puntos evaluados, lo cual permite inferir que las actividades llevadas a cabo en el Molino no generaran alteraciones significativas en la calidad del aire.
- El análisis encontrado durante los tres (3) días de monitoreo para el índice ICA del parámetro PM_{10} refleja que el aire presenta una calidad “Aceptable” para la estación 1 y “buena” para la estación 2.

SERGIO ALFONSO VESGA BALLESTEROS	INFORME DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL MOLINO PROCECAS	INF_19247
		Versión 1
		Diciembre de 2019

8. BIBLIOGRAFÍA

APHA INTERSOCIETY COMMITTEE. *Methods of Air Sampling and Analysis. Second Edition.* American Public Health Association. Washington D.C. 1985.

DE NEVERS, N. Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire. MC Graw Hill. 1998.

E.P.A. – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Compilation of air Pollutant Emission Factors. Supplement 14. Chapter 11.2.3. 1977.

E ROBERTS ALLEY & ASSOCIATES, INC. Air Quality Control Handbook. 1998.

IDEAM. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental. 2005.

ICONTEC. Norma NTC ISO/IEC 17025:1999.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2254 de 2017. Norma de Calidad del Aire.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. *Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire.* Bogotá, Noviembre 2010.

OPS/OMS & CEPIS/OPS. Guías para la Calidad del Aire. Publicación 04.110 .2004.

SEINFELD, J.E. Contaminación Atmosférica; Fundamentos Físicos y Químicos. Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid, 1978.

UNITED NATIONS. Urban air pollution in megacities of the world. United Nations Environmental Program and World Health Organization. Appendix 1.



ANEXOS

ANEXO 1. REGISTROS DE CAMPO

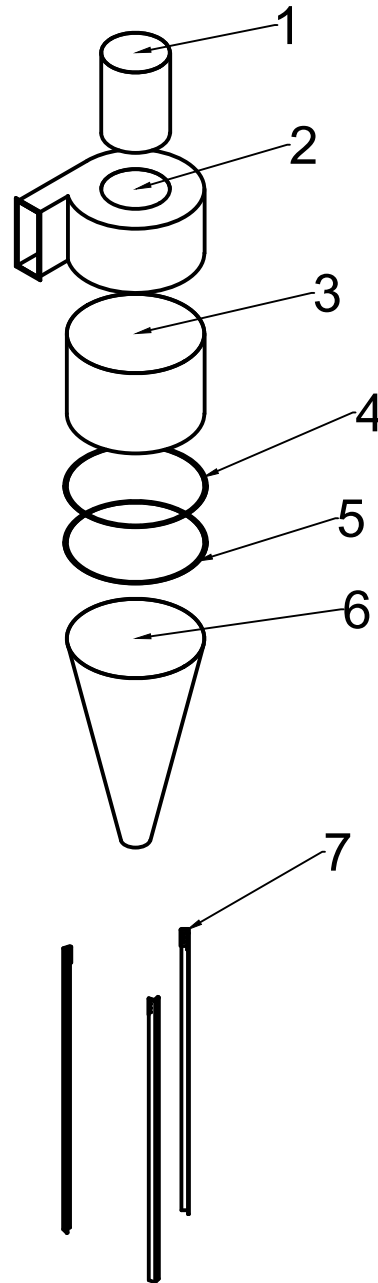
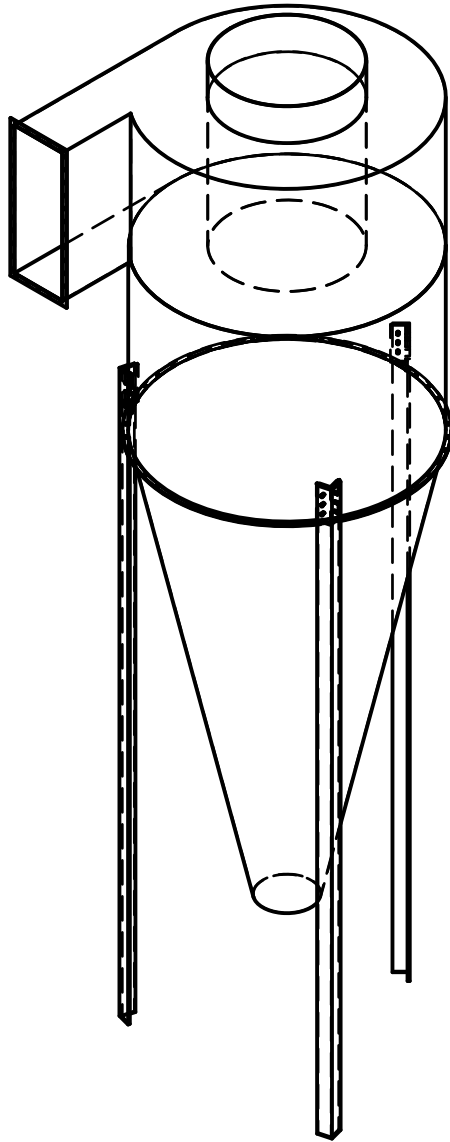
ANEXO 2. REPORTES DE RESULTADOS DE LABORATORIO

ANEXO 3. ACREDITACION IDEAM

ANEXO 4. CERTIFICADO DE CALIBRACION

9.2 ANEXO 2

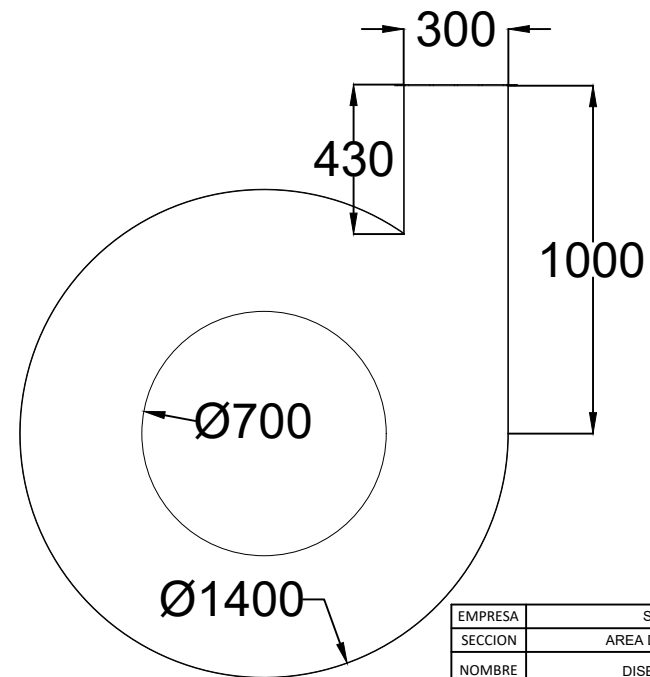
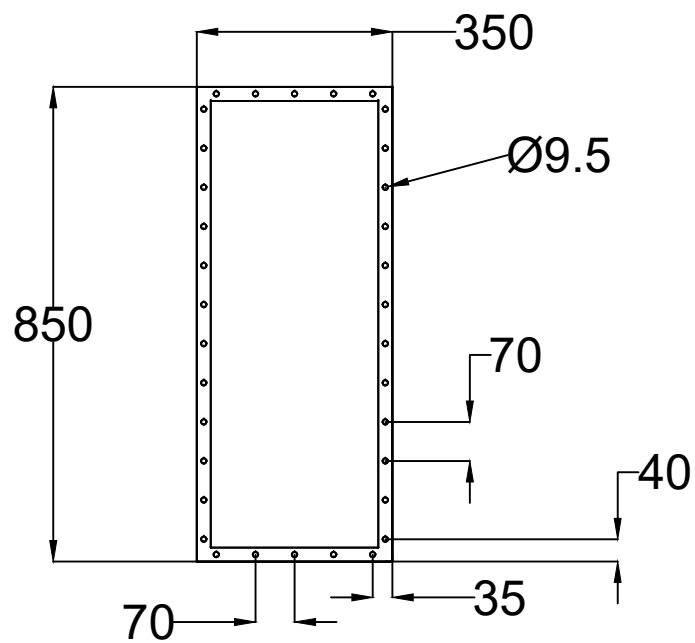
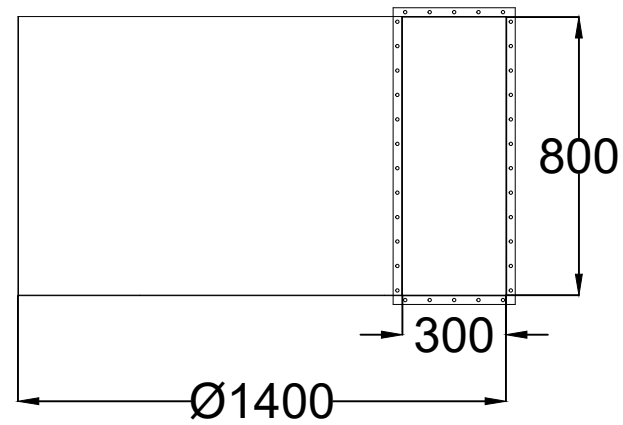
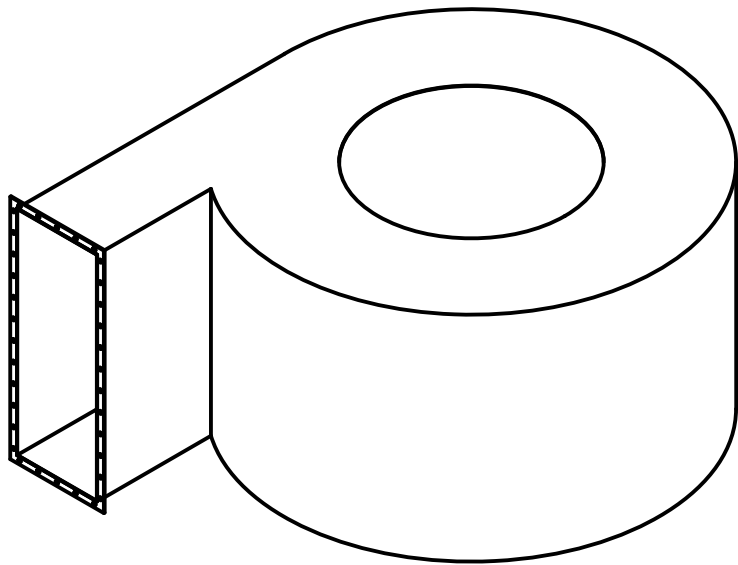
DISEÑO DE SEPARADOR CICLONICO



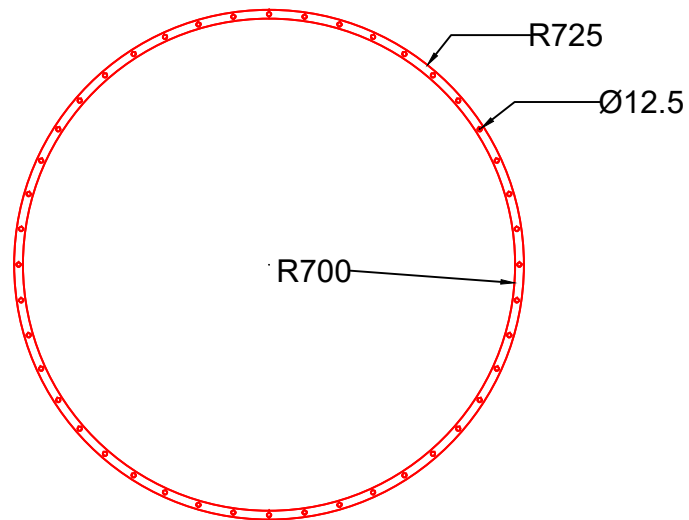
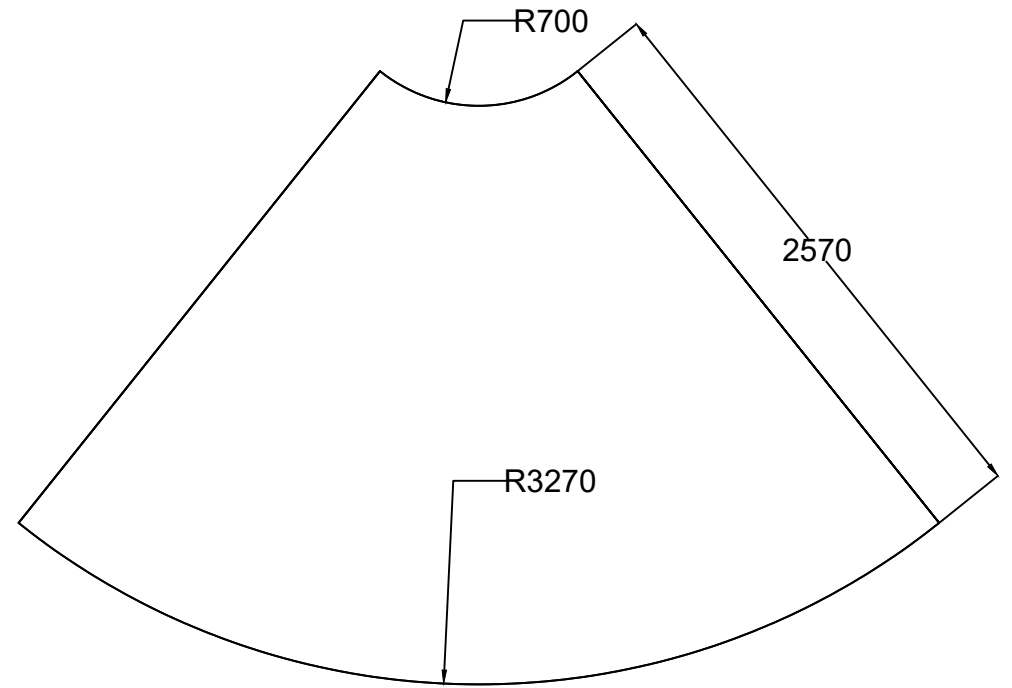
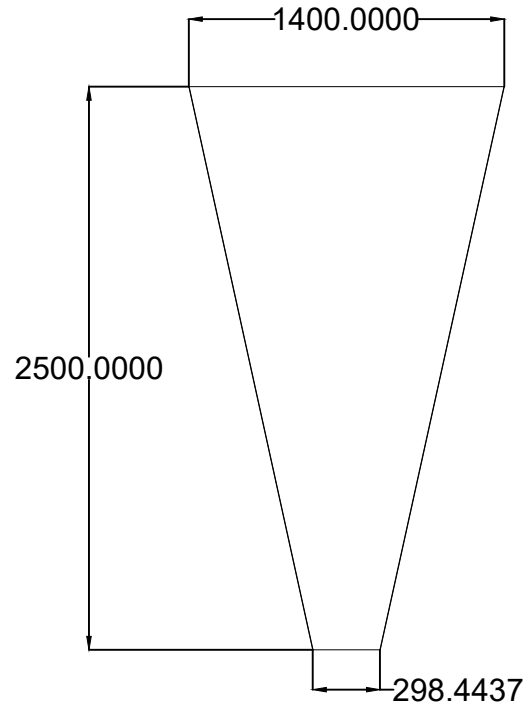
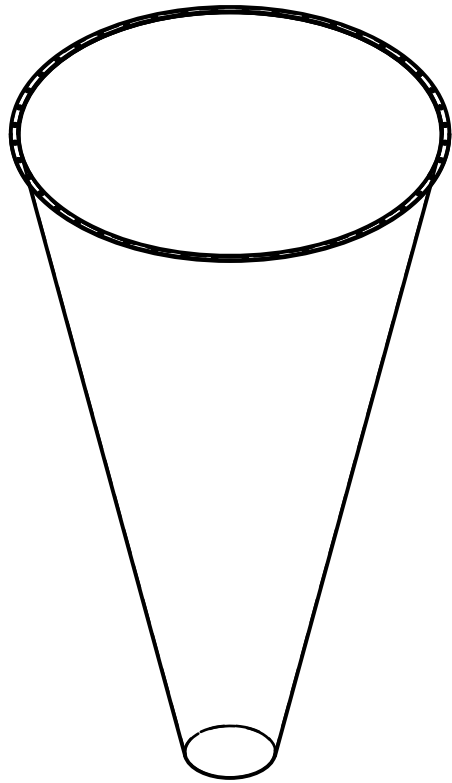
MATERIALES	CANTIDAD
LAMINA COLD ROLLED 4X8 ft CALIBRE 16	10
LAMINA COLD ROLLED 4X10 ft CALIBRE 16	4
ANGULO 3 X 3 X 3/8 in	3
tornillo 1/2 x 2 in	55
tornillo 3/8 x 1 in	80

1	seccion salida de aire ciclon
2	seccion entrada de aire ciclon
3	seccion cilindrica
4	brida de sujecion
5	brida de sujecion
6	seccion conica
7	soporte de ciclon

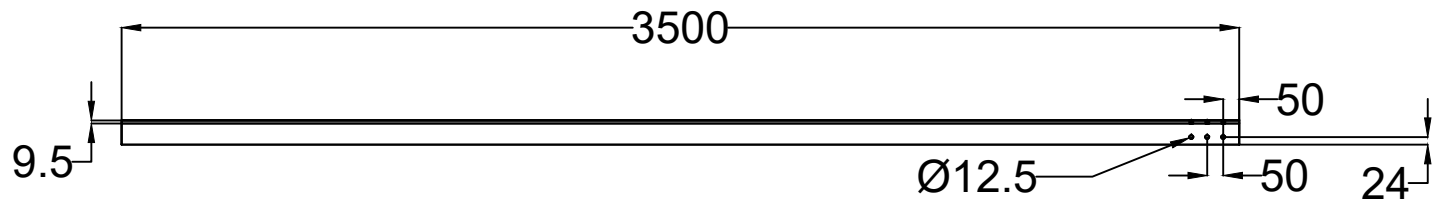
EMPRESA	SYH VESGA BALLESTEROS		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO TERCER PASO		
NOMBRE	DISEÑO SEPARADOR CICLONICO		
DIBUJADO	ING JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	1:5	1:1	



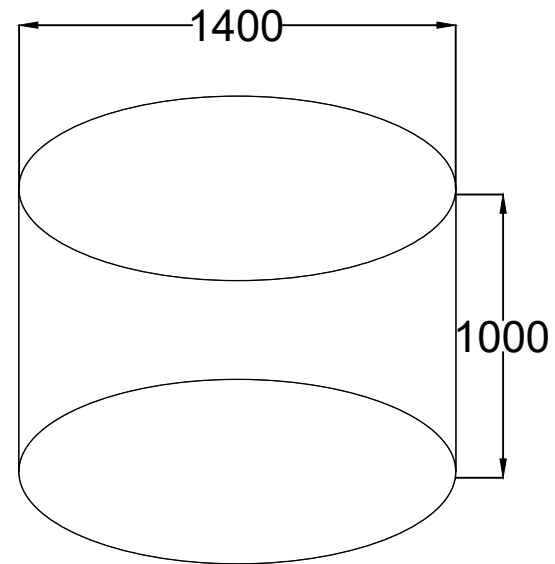
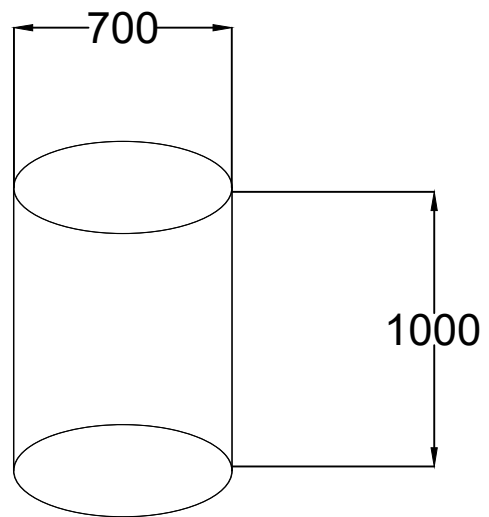
EMPRESA	SYH VESGA BALLESTEROS		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO TERCER PASO		
NOMBRE	DISEÑO SEPARADOR CICLONICO		
DIBUJADO	ING JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	2:5	1:1	



EMPRESA	SYH VESGA BALLESTEROS		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO TERCER PASO		
NOMBRE	DISEÑO SEPARADOR CICLONICO		
DIBUJADO	ING JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	3:5	1:1	



EMPRESA	SYH VESGA BALLESTEROS		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO TERCER PASO		
NOMBRE	DISEÑO SEPARADOR CICLONICO		
DIBUJADO	ING JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	4:5	1:1	



EMPRESA	SYH VESGA BALLESTEROS		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO TERCER PASO		
NOMBRE	DISEÑO SEPARADOR CICLONICO		
DIBUJADO	ING JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	5:5	1:1	

9.3 ANEXO 3

PESOS TEORICOS DE LAMINA NEGRA Y GALVANIZADA



PLACA Y ACERO JASA S.A. DE C.V.
JAVIER ROJO GÓMEZ NO.118
COL. AGRÍCOLA ORIENTAL
MÉXICO DF.

TEL. 55-58-67-73
FAX. 57-56-79-64
ID NEX. 62*165970*2
contacto@placayacero.mx

PESOS TEORICOS DE LAMINA NEGRA Y ANTIDERRAPANTE

PESO POR HOJAS DE LAMINA Y PLACA ANTIDERRAPANTE (KG.)								
CALIBRE	M.PULG.	MM.	3' X 6' .914 X 1.83	3' X 8' .914 X 2.44	3' X 10' .914 X 3.05	4' X 8' 1.22 X 2.44	4 X 10' 1.22 X 3.05	KG. / M2
1/4 "	0.25	6.3	91.27	122.05	152.29	163.84	204.52	54
3/16 "	0.187	4.7	70.60	94.42	117.81	126.74	158.21	42
CAL. 10	0.134	3.4	55.19	73.81	92.10	99.08	123.69	33
1/8 "	0.125	3.2	49.93	66.78	83.32	89.64	111.90	31
CAL. 11	0.119	3.0	48.29	64.58	80.58	86.69	108.21	28
CAL. 12	0.104	2.6	42.54	56.90	70.99	76.38	90.50	25
CAL. 13	0.089	2.3	36.47	48.77	60.86	65.47	81.73	22
CAL. 14	0.074	1.9	30.39	40.65	50.72	54.56	68.11	19

PESO POR HOJA DE LAMINA NEGRA Y GALVANIZADA (KG.)								
CALIBRE	M.PULG.	MM.	3' X 6' .914 X 1.83	3' X 8' .914 X 2.44	3' X 10' .914 X 3.05	4' X 8' 1.22 X 2.44	4 X 10' 1.22 X 3.05	KG. / M2
10	0.1345	3.4163	45.92	61.23	76.54	81.64	102.05	27.47
1/8"	0.125	3.17501	42.68	56.91	17.14	75.86	94.83	25.53
11	0.1196	3.0379	40.62	54.43	68.03	72.57	90.71	24.42
12	0.1046	2.6569	35.72	47.62	59.53	63.50	79.37	21.36
13	0.0897	2.2784	30.61	40.82	51.02	54.43	68.03	18.31
14	0.0747	1.5974	25.51	34.01	45.52	45.35	56.69	15.26
15	0.0673	1.7094	22.69	30.61	38.27	40.82	51.02	13.73
16	0.0598	1.5189	20.41	27.21	34.01	36.28	45.35	12.21
17	0.0538	1.3665	18.37	24.49	30.61	32.65	40.82	10.98
18	0.0478	1.2141	16.32	21.77	27.21	29.03	36.28	9.76
19	0.0418	1.0617	14.28	19.05	23.81	25.40	31.75	8.54
20	0.0359	0.9119	12.24	16.32	20.41	21.77	27.21	7.32
21	0.0329	0.8357	11.26	14.96	18.71	19.95	24.94	6.71
22	0.0299	0.7595	10.20	13.60	17.01	18.14	22.68	6.12
23	0.0269	0.6833	9.18	12.24	15.30	16.32	20.41	5.49
24	0.0239	0.6071	8.16	10.88	13.60	14.51	18.14	4.88
25	0.0209	0.5309	7.14	9.52	11.90	12.70	15.87	4.27
26	0.0179	0.4547	6.12	8.16	10.20	10.88	13.69	6.12
27	0.0164	0.4235	5.62	7.48	9.35	9.97	12.47	3.35
28	0.3879	0.0149	5.11	6.81	8.52	9.07	11.34	3.05



PLACA Y ACERO JASA S.A. DE C.V.
JAVIER ROJO GÓMEZ NO.118
COL. AGRÍCOLA ORIENTAL
MÉXICO DF.

TEL. 55-58-67-73
FAX. 57-56-79-64
ID NEX. 62*165970*2
contacto@placayacero.mx

TABLA DE PESO APROXIMADO DE PLACA DE ACERO EN MEDIDA ESTÁNDAR

PULGADAS MILESIMAS MILIMETROS		1 "	15/16 "	7/8 "	13/16 "	3/4 "	11/16 "	5/8 "	9/16 "	1/2 "	7/16 "	3/8 "	5/16 "	1/4 "	3/16 "	1/8 "
		1000	937	875	812	750	687	625	562	500	438	375	313	250	186	125
		25.4	23.8	22.2	20.6	19.1	17.5	15.9	14.3	12.7	11.1	9.5	7.9	6.4	4.8	3.2
PIES	METROS	PESOS TEORICO														
3' X 6'	(.914 X 1.83)	333	312	291	271	250	229	208	187	167	148	125	104	83	62	51
3' X 8'	(.914 X 2.44)	444	416	389	361	333	305	278	250	222	194	167	139	111	83	68
3' X 10'	(.914 X 3.05)	555	521	486	451	416	382	347	312	278	243	208	173	139	104	84
4' X 8'	(1.22 X 2.44)	592	555	518	481	444	407	370	333	396	259	222	185	148	111	90
4' X 10'	(1.22 X 3.05)	740	694	648	601	555	509	463	416	370	324	278	231	185	139	112
5' X 10'	(1.62 X 3.05)	925	868	810	752	694	636	578	521	563	405	437	289	331	174	140
5' X 20'	(1.52 X 6.10)	1851	1735	1609	1504	1388	1272	1157	1041	925	810	694	578	463	347	280
6' X 20'	(1.83 X 6.10)	2221	2082	1943	1804	1666	1527	1388	1249	1110	972	833	694	555	416	337
8' X 20'	(2.43 X 6.10)	2995	2765	2583	2399	2246	2030	1872	2246	1498	1292	1123	936	749	562	448
KG. POR M2		199.2	186.6	174.3	161.9	149.4	137	124.5	112.1	99.61	87.15	74.7	62.25	49.8	37.35	30.02
REDONDEADO		200	187	175	162	150	137	125	112	100	87	75	62	50	37	30



PLACA Y ACERO JASA S.A. DE C.V.
JAVIER ROJO GÓMEZ NO.118
COL. AGRÍCOLA ORIENTAL
MÉXICO DF.

TEL. 55-58-67-73
FAX. 57-56-79-64
ID NEX. 62*165970*2
contacto@placayacero.mx

EQUIVALENCIA DE FRACCIONES

Fracciones de Pulgada	Milesimas de pulgada	Decimas de Pulgada	Milímetros	Centímetros
1/64"	15.625	0.015625	0.39688	0.039688
1/32"	31.25	0.03125	0.79376	0.079376
3/64"	46.875	0.046875	1.19064	0.119064
1/16"	62.5	0.0625	1.58752	0.158752
5/64"	78.125	0.078125	1.9844	0.19844
3/32"	93.75	0.09375	2.38128	0.238128
7/64"	109.375	0.109375	2.77816	0.277816
1/8"	125	0.125	3.17504	0.317504
9/64"	140.625	0.140625	3.57192	0.357192
5/32"	156.25	0.15625	3.9688	0.39688
11/64"	171.875	0.171875	4.36568	0.436568
3/16"	187.5	0.1875	4.76256	0.476256
13/64"	203.125	0.203125	5.15944	0.515944
7/32"	218.75	0.21875	5.55632	0.555632
15/64"	234.375	0.234375	5.9532	0.59532
1/4"	250	0.25	6.35008	0.635008
17/64"	265.625	0.265625	6.74696	0.674696
9/32"	281.25	0.28125	7.14384	0.714384
19/64"	296.875	0.296875	7.54072	0.754072
5/16"	312.5	0.3125	7.9376	0.79376
21/64"	328.125	0.328125	8.33448	0.833448
11/32"	343.75	0.34375	8.73136	0.873136
23/64"	359.375	0.359375	9.12824	0.912824
3/8"	375	0.375	9.52512	0.952512
25/64"	390.625	0.390625	9.922	0.9922
13/32"	406.25	0.40625	10.31888	1.031888
27/64"	421.875	0.421875	10.71576	1.071576
7/16"	437.5	0.4375	11.11264	1.111264
29/64"	453.125	0.453125	11.50952	1.150952
15/32"	468.75	0.46875	11.9064	1.19064
31/64"	484.375	0.484375	12.30328	1.230328
1/2"	500	0.5	12.70016	1.270016

Fracciones de Pulgada	Milesimas de pulgada	Decimas de Pulgada	Milímetros	Centímetros
33/64"	515.625	0.515625	13.09704	1.309704
17/32"	531.25	0.53125	13.49392	1.349392
35/64"	546.875	0.546875	13.8908	1.38908
9/16"	562.5	0.5625	14.28768	1.428768
37/64"	578.125	0.578125	14.68456	1.468456
19/32"	593.75	0.59375	15.08144	1.508144
39/64"	609.375	0.609375	15.47832	1.547832
5/8"	625	0.625	15.8752	1.58752
41/64"	640.625	0.640625	16.27208	1.627208
21/32"	656.25	0.65625	16.66896	1.666896
43/64"	671.875	0.671875	17.06584	1.706584
11/16"	687.5	0.6875	17.46272	1.746272
45/64"	703.125	0.703125	17.8596	1.78596
23/32"	718.75	0.71875	18.25648	1.825648
47/64"	734.375	0.734375	18.65336	1.865336
3/4"	750	0.75	19.05024	1.905024
49/64"	765.625	0.765625	19.44712	1.944712
25/32"	781.25	0.78125	19.844	1.9844
51/64"	796.875	0.796875	20.24088	2.024088
13/16"	812.5	0.8125	20.63776	2.063776
53/64"	828.125	0.828125	21.03464	2.103464
27/32"	843.75	0.84375	21.43152	2.143152
55/64"	859.375	0.859375	21.8284	2.18284
7/8"	875	0.875	22.22528	2.222528
57/64"	890.625	0.890625	22.62216	2.262216
29/32"	906.25	0.90625	23.01904	2.301904
59/64"	921.875	0.921875	23.41592	2.341592
15/16"	937.5	0.9375	23.8128	2.38128
61/64"	953.125	0.953125	24.20968	2.420968
31/32"	968.75	0.96875	24.60656	2.460656
63/64"	984.375	0.984375	25.00344	2.500344
1"	1000	1	25.40032	2.540032

Fracciones de Pulgada	Milesimas de pulgada	Decimas de Pulgada	Milímetros	Centímetros
10	134.5	0.1345	3.4163	0.034163
11	119.6	0.1196	3.0379	0.030379
12	104.6	0.1046	2.6569	0.026569
13	89.7	0.0897	2.2784	0.022784
14	74.7	0.0747	1.5974	0.015974
15	67.3	0.0673	1.7094	0.017094
16	59.8	0.0598	1.5189	0.015189
17	53.8	0.0538	1.3665	0.013665
18	47.8	0.0478	1.2141	0.012141
19	41.8	0.0418	1.0617	0.010617

Fracciones de Pulgada	Milesimas de pulgada	Decimas de Pulgada	Milímetros	Centímetros
20	35.9	0.0359	0.9119	0.009119
21	32.9	0.0329	0.8375	0.008375
22	29.9	0.0299	0.7595	0.007595
23	26.9	0.0269	0.6833	0.006833
24	23.9	0.0239	0.6071	0.006071
25	20.9	0.0209	0.5309	0.005309
26	17.9	0.0179	0.4547	0.004547
27	16.4	0.0164	0.4235	0.004235
28	14.9	0.0149	0.03854	0.000385
29	13.5	0.0135	0.03424	0.000342

9.4 ANEXO 4

PROPIEDADES DE ANGULOS (LADOS IGUALES) COMERCIALES

Tablas de pesos y medidas (hierros, aceros y caños)

Perfiles laminados en caliente

- ▶ 1. Perfil ángulo de alas iguales.
- ▶ 2. Perfil Normal "U" - UPN.
- ▶ 3. Perfil Normal doble T - IPN.
- ▶ 4. Planchuelas de hierro.

Perfiles conformados en frío

- ▶ 5. Perfiles C.
- ▶ 6. Perfiles U.

Perfil ángulo de alas iguales

F = Sección

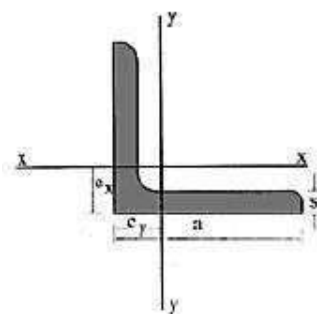
G = Peso

U = Superficie exterior por metro de perfil

J = Momento de inercia

W = Momento resistente

i = Radio de giro



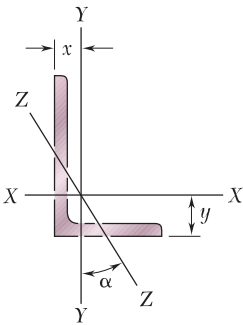
Denominación	Dimensiones			Eje flexión x-x=y-y				
	a	b	ex=ey	F	G	Jx=Jy	Wx=Wy	ix=iy
	mm	mm	cm	cm ²	Kg./m	cm ⁴	cm ³	cm
5/8" x 1/8"	15.9	3.2	0.51	0.91	0.7	0.20	0.18	0.46
3/4" x 1/8"	19.1	3.2	0.58	1.11	0.9	0.37	0.28	0.58
7/8" x 1/8"	22.2	3.2	0.66	1.31	1.0	0.58	0.37	0.66
1" x 1/8"	25.4	3.2	0.75	1.51	1.2	0.91	0.51	0.77
1" x 3/16"	25.4	4.8	0.81	2.19	1.8	1.25	0.72	0.75
1" x 1/4"	25.4	6.4	0.86	2.83	2.2	1.66	0.98	0.73
1 1/4" x 1/8"	31.7	3.2	0.91	1.92	1.5	1.83	0.80	0.98
1 1/4" x 3/16"	31.7	4.8	0.97	2.80	2.2	2.54	1.16	0.96
1 1/4" x 1/4"	31.7	6.4	1.01	3.61	2.8	3.32	1.47	0.93
1 1/2" x 1/8"	38.1	3.2	1.07	2.32	1.8	3.25	1.18	1.18
1 1/2" x 3/16"	38.1	4.8	1.13	3.40	2.7	4.58	1.70	1.16
1 1/2" x 1/4"	38.1	6.4	1.18	4.44	3.4	5.78	2.19	1.14
1 3/4" x 1/8"	44.4	3.2	1.23	2.73	2.1	5.24	1.62	1.39
1 3/4" x 3/16"	44.4	4.8	1.29	4.00	3.1	7.45	2.36	1.36
2" x 1/8"	50.8	3.2	1.39	3.13	2.4	7.91	2.14	1.59
2" x 3/16"	50.8	4.8	1.45	4.61	3.6	11.33	3.12	1.57
2" x 1/4"	50.8	6.4	1.50	6.05	4.7	14.48	4.04	1.55
2 1/4" x 3/16"	57.1	4.8	1.60	5.21	4.1	16.23	3.93	1.78
2 1/4" x 1/4"	57.1	6.4	1.68	6.85	5.4	21.23	5.24	1.75
2 1/2" x 3/16"	63.5	4.8	1.76	5.82	4.6	22.77	4.96	1.98
2 1/2" x 1/4"	63.5	6.4	1.82	7.66	6.1	29.26	6.45	1.95
3" x 1/4"	76.2	6.4	2.14	9.27	7.3	51.60	9.46	2.36
3" x 5/16"	76.2	7.9	2.20	11.47	9.1	62.80	11.58	2.34
3" x 3/8"	76.2	9.5	2.26	13.60	10.7	73.20	13.65	2.32
3 1/2" x 1/4"	88.9	6.4	2.46	10.89	8.6	83.60	13.01	2.77
3 1/2" x 5/16"	88.9	7.9	2.51	13.49	10.7	101.90	15.99	2.74
3 1/2" x 3/8"	88.9	9.5	2.57	16.02	12.6	119.40	18.85	2.71
4" x 1/4"	101.6	6.4	2.76	12.51	9.8	124.80	18.02	3.17
4" x 5/16"	101.6	7.9	2.84	15.50	12.2	154.60	21.10	3.15
4" x 3/8"	101.6	9.5	2.90	18.44	14.6	181.30	24.90	3.12
4" x 1/2"	101.6	12.7	3.00	24.19	19.0	231.40	32.30	3.10

9.5 ANEXO 5

PROPIEDADES DE ANGULOS (LADOS IGUALES) EN SISTEMA INTERNACIONAL

APÉNDICE C. Propiedades de perfiles laminados de acero
(Unidades SI)

Ángulos
Piernas iguales



Tamaño y espesor, mm	Peso por metro, kg/m	Área, mm ²	Eje X-X				Eje Z-Z
			<i>I</i> 10 ⁶ mm ⁴	10 ³ mm ³	<i>r</i> mm	<i>x</i> o <i>y</i> mm	<i>r_z</i> mm
L203 × 203 × 25.4	75.9	9 680	37.1	259	61.7	59.9	39.6
19	57.9	7 350	29.1	200	62.5	57.4	39.9
12.7	39.3	5 000	20.3	137	63.2	55.1	40.4
L152 × 152 × 25.4	55.7	7 100	14.7	140	45.5	47.2	29.7
19	42.7	5 460	11.7	109	46.2	45.0	29.7
15.9	36.0	4 600	10.0	92.4	46.7	43.7	29.7
12.7	29.2	3 720	8.28	75.2	47.2	42.4	30.0
9.5	22.2	2 830	6.41	57.5	47.5	41.1	30.2
L127 × 127 × 19	35.1	4 480	6.53	74.1	38.1	38.6	24.7
15.9	29.8	3 780	5.66	63.1	38.6	37.3	24.8
12.7	24.1	3 060	4.70	51.6	38.9	36.1	24.9
9.5	18.3	2 330	3.65	39.5	39.4	34.8	25.0
L102 × 102 × 19	27.5	3 510	3.17	45.7	30.0	32.3	19.7
15.9	23.4	2 970	2.76	39.0	30.5	31.0	19.7
12.7	19.0	2 420	2.30	32.1	30.7	30.0	19.7
9.5	14.6	1 850	1.80	24.6	31.2	28.7	19.8
6.4	9.80	1 250	1.25	16.9	31.8	27.4	19.9
L89 × 89 × 12.7	16.5	2 100	1.51	24.3	26.7	26.7	17.2
9.5	12.6	1 600	1.19	18.8	27.2	25.4	17.3
6.4	8.60	1 090	0.832	12.9	27.7	24.2	17.5
L76 × 76 × 12.7	14.0	1 770	0.916	17.4	22.7	23.6	14.7
9.5	10.7	1 360	0.728	13.5	23.1	22.5	14.8
6.4	7.30	929	0.512	9.32	23.5	21.2	14.9
L64 × 64 × 12.7	11.4	1 450	0.508	11.7	18.7	20.4	12.2
9.5	8.70	1 120	0.405	9.14	19.0	19.3	12.2
6.4	6.10	768	0.288	6.34	19.4	18.1	12.2
4.8	4.60	581	0.223	4.83	19.6	17.4	12.2
L51 × 51 × 9.5	7.00	877	0.198	5.70	15.0	16.1	9.80
6.4	4.70	605	0.144	4.00	15.4	14.9	9.83
3.2	2.40	312	0.0787	2.11	15.7	13.6	9.93

9.6 ANEXO 6

CARACTERISTICAS DEL VENTILADOR SELECCIONADO DE LA EMPRESA SODECA

AH23-S30-A9-40-1441RPM 60HZ



Ventiladores de media presión accionados a transmisión, equipados con motor eléctrico, conjunto de poleas, correas y protectores normalizados

Ventilador:

- Envoltente en chapa de acero.
- Turbina a reacción en chapa de acero de gran robustez, especialmente diseñada para transportar aire limpio o ligeramente polvoriento.
- Temperatura máxima del aire a transportar: -25 °C +120 °C.
- Conjunto de poleas, correas y protectores normalizados.
- Carcasa soldada en continuo.
- Incorpora trampilla de inspección.
- Arreglo 9 para potencias inferiores o iguales a 50 Hp.
- Arreglo 1 para potencias superiores a 50 Hp.

Motor:

- Motores clase F con rodamientos a bolas y protección IP55, IE2 o IE3 60 HZ.
- Temperatura de trabajo: -25 °C +50 °C.

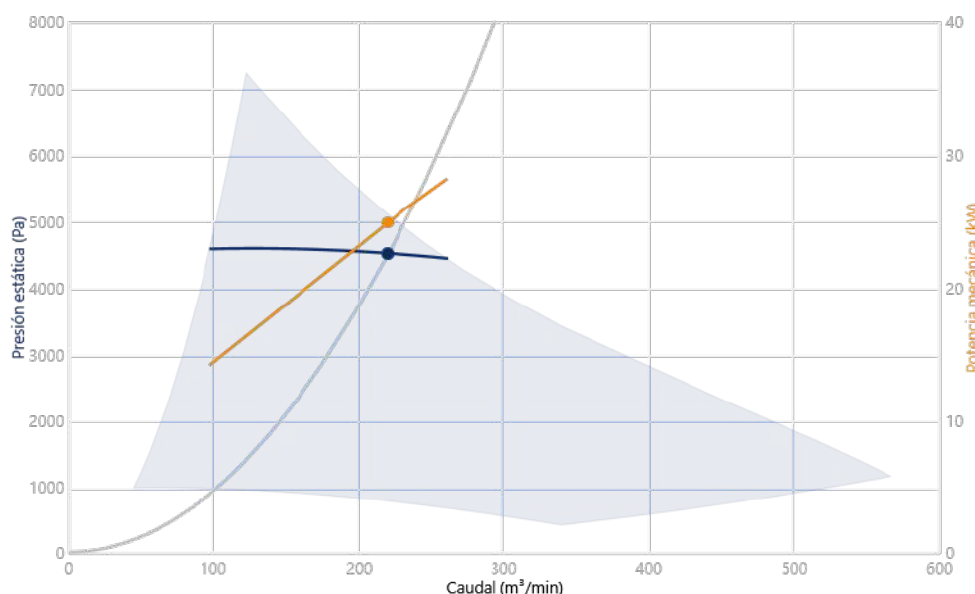
Acabado:

- Anticorrosivo en resina de poliéster polimerizada a 190 °C, previo desengrase con tratamiento nanotecnológico libre de fosfatos.

Bajo demanda:

- Bobinados especiales para diferentes tensiones.
- Dámper en la succión y/o descarga.
- Ventilador en acero inoxidable.
- Ventilador preparado para transportar aire hasta +400 °C.
- Carcasa bipartida.

CURVA CARACTERÍSTICA PARA 28°C 300MSNM 1,13KG/M³



Punto Diseño

Q (m³/min)	220
Pe (Pa)	4500

Punto Servicio (PS)

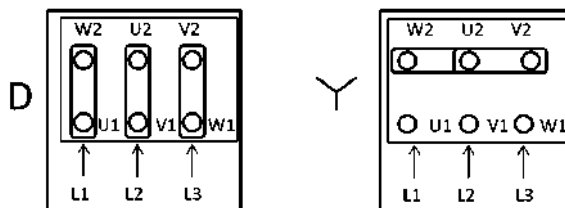
Q (m³/min)	220
Pe (Pa)	4500
Pd (Pa)	107,6
Pt (Pa)	4608
Velocidad (rpm)	1441
Temperatura de operación (°C)	28
Velocidad salida aire (m/s)	13,8
Rendimiento (%)	68,02
SFP (kW/m³/s)	7,354
Potencia mecánica absorbida (kW)	24,84
Potencia Mecánica Recomendada (kW)	30
Potencia Mecánica Seleccionada (kW)	30

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Caudal máximo (m³/min)	261,1
Velocidad (rpm)	1441
Presión estática máxima (Pa)	4573
Presión total máxima (Pa)	4622

DATOS DEL MOTOR

Potencia Mecánica Nominal (kW)	30
Hz/fases	60/3
Motor (rpm)	3552
Polos	2P
Corriente máx. (A) 380-480 V D	54,5
Corriente máx. (A)	31,6
Protección del motor	IP55
Tamaño del bastidor del motor	200



Los datos pueden cambiar, por favor consulte la placa del motor

DIMENSIONES

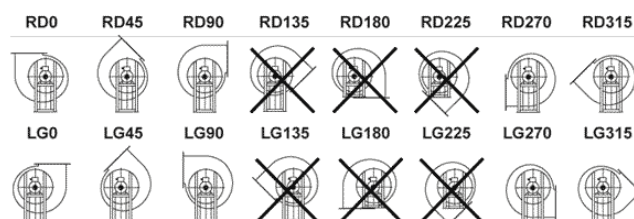
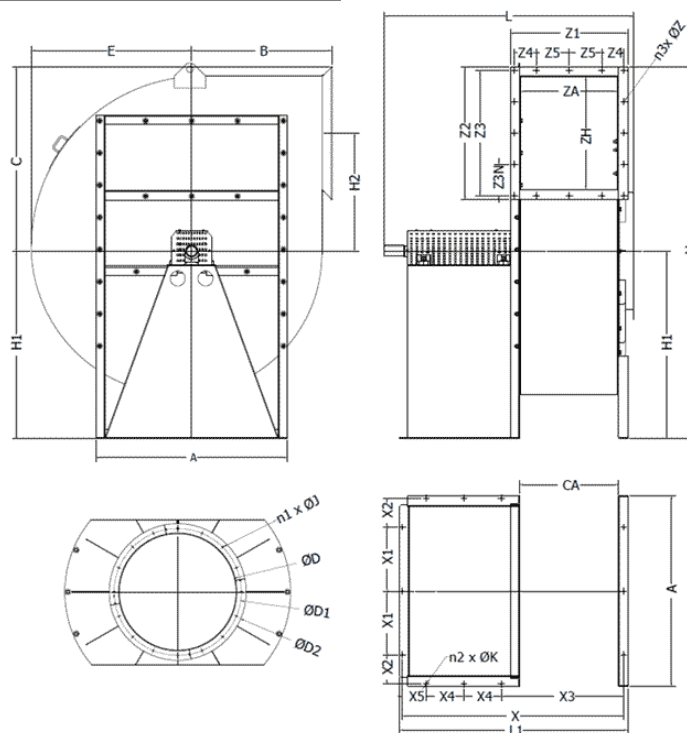
A	B	C	E	CA	ØD	ØD1	ØD2	H	H1	H2	n1	ØJ	n2
954	770	921	790	487	578	636	686	1891	970	587	12	14	12

ØK	L	L1	X	X1	X2	X3	X4	X5	n3	ØZ	ZA	ZH	Z1
14	1542	1372	1331	318	138	147	267	650	16	14	477	557	590

Z2	Z3	Z3N	Z4	Z5
670	628	157	111	163

Las dimensiones sin unidades definidas explícitamente se muestran en milímetros (mm). Dimensiones dependientes del motor son aproximadas

Peso aprox. (kg)	225
------------------	-----



ACCESORIOS DISPONIBLES

No tiene accesorios.

Mosquera, Junio 13 de 2022

Señores
JEFFERSON URUEÑA
Bogotá

Estimados Señores:

Atendiendo su gentil solicitud nos es grato presentarle esta oferta para la fabricación y suministro del siguiente ventilador, de acuerdo a especificaciones suministradas vía mail.

ESPECIFICACIONES

ITEM 1

Un Ventilador Centrífugo

Tipo: AH23-S20-A9-40HP

Caudal: 220m³/min

Presión. SP: 4500Pa (18" C.A.), 300m.s.n.m, 28°C

Potencia: 40HP, 1800RPM, 220/440V

Arreglo: 9 (poleas y correas)

RPM Ventilador: 1441

Nivel de Ruido: 92dBA a 5 ft. enductado /101dBA con una boca enductada

Material de la carcasa, rotor y base: A-36

Acabado: Pintura electrostática color institucional SODECA RAL 7032

Posición del eje: **Horizontal**

Incluye: Motor WEG o similar eficiencia IE3 220/440V, montaje certificado de rodamientos, poleas y correas SKF o similar, alineación láser de poleas, tensionamiento de correas con frecuencia, certificado de balanceo dinámico y catálogo.

No Incluye: Piezas de acople, filtros, aislamientos acústicos y térmicos, bases anti vibratorias, transporte

TERMINOS COMERCIALES

ITEM	CONCEPTO	CANT.	VALOR UNITARIO SIN MOTOR COP	VALOR TOTAL CON MOTOR WEG COP
1	AH23SWSI-40HP	1	20.423.000	31.475.000

A estos precios se les debe agregar el IVA vigente

Forma de pago:

50% Con su orden de compra

50% Contra entrega antes de despacho

Plazo de entrega

5 días hábiles contados a partir del recibo del anticipo para la elaboración de planos

30 días hábiles contados a partir de la fecha de aprobación de planos para la fabricación

SODECA LATAM SAS Av. Calle 7 13A 44 Parque empresarial Montana Tel: 57 1 7564213- Móvil: 57 3106889238
Mosquera Cundinamarca Colombia

Validez de la oferta: 30 días

Garantía: 12 meses contados a partir de la fecha de factura

La Garantía ampara:

Defectos de fabricación y está sujeta a los buenos procesos de montaje, transporte, mantenimiento y lubricación.

La Garantía no ampara:

Desgaste por fricción, abrasión o condiciones extremas no informadas, consumibles de mantenimiento como correas, grasa, rodamientos, etc. (Solicitar condiciones de garantía). **Ver condiciones de garantía a domicilio.**

NOTA:

- Las condiciones de venta hacen parte integral de esta oferta.
- Estimado Cliente nuestro procedimiento de fabricación nos exige la aprobación o visto bueno de planos por parte del Cliente, por tanto, nuestros plazos de entrega están sujetos a esta aprobación. Este procedimiento garantiza que el Cliente visualice posibles inconvenientes en el montaje de su sistema y/o ventilador, tamaño, forma y peso del mismo, medidas de conexión de ductos, etc.
- Las pruebas al ventilador o equipo se realizan en planta de tornado y el Cliente, si lo desea, designará una persona idónea para observar las pruebas y recibir el ventilador o equipo. **Si Ud. asistirá a las pruebas favor indicarlo en su orden de compra.**
- Ventiladores con potencias mayores a 100HP si el Cliente lo desea se probarán en planta del Cliente, los costos que por este concepto se generen se cobrarán adicionalmente.

Atentamente,

Ing. LUISA STELLA PRIETO

Departamento Comercial

CONDICIONES DE VENTA DE LA COTIZACIÓN:

1. La presente cotización y las condiciones de venta de la misma, serán parte integral de los documentos que legalizaran el Contrato de Compra – Venta de los elementos allí descritos.

2. la validez de la oferta en lo que hace referencia a los precios estipulados, caduca a los treinta (30) días o antes, si los precios de las materias primas a utilizar, aumentan su costo en el mercado, o se expide reglamentación gubernamental que afecte los costos haciendo variar el total de la oferta en más del 5% (cinco por ciento), aumento del salario mínimo, medidas económicas, devaluaciones, etc.

SODECA LATAM SAS Av. Calle 7 13A 44 Parque empresarial Montana Tel: 57 1 7564213- Móvil: 57 3106889238
Mosquera Cundinamarca Colombia

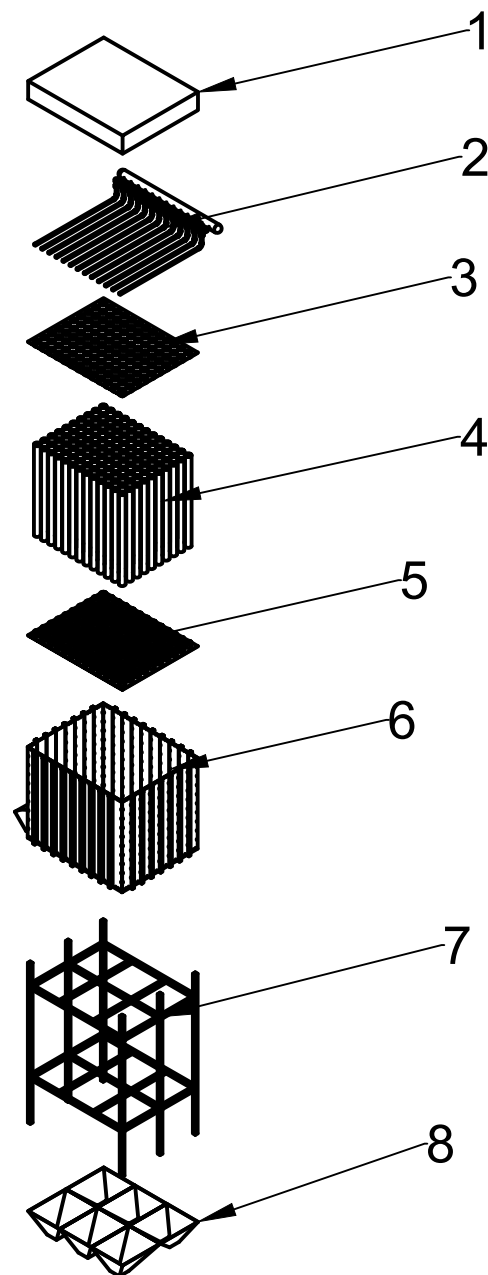
3. El plazo de entrega estipulado, rige desde el momento en que se reciba y se haga efectivo el anticipo.
 4. Toda variación de las condiciones del suministro o aumento de los elementos y en general de las condiciones de la cotización, será causal de reajuste de los precios de la misma.
 5. Las garantías respaldadas por las compañías de seguros, si se pactan, se limitarán a aquellas citadas expresamente en la oferta.
- El costo de la prima de toda la póliza o valor de registro de todo documento de garantía que exigiere el cliente, será por cuenta del mismo ya que este valor no se ha tenido en cuenta en la cotización.
6. La garantía de estabilidad de obra y buen funcionamiento se limita en forma exclusiva a aquellas partes fabricadas directamente por “SODECA LATAM SAS”, y cesa al término del tiempo estipulado o antes si se comprobare mal manejo de los equipos, mantenimiento insuficiente y exceso de operación del equipo en más del 5% de las condiciones de diseño.
- Las garantías de elementos no fabricados por “SODECA LATAM SAS”, se limitarán a aquellas otorgadas por los fabricantes respectivos.
7. Los precios estipulados en la oferta no incluyen, a menos que se indiquen expresamente, obras eléctricas, tendidas de línea, controles, conexiones, obras de mampostería, demoliciones, resanes, huecos, andamiaje, pintura final, etc.
 8. El cliente en caso de adjudicar orden de compra o contrato por los elementos aquí descritos, deberá suministrar servicio de energía, agua y aire para el normal desarrollo del trabajo, así como los servicios sanitarios, en lo posible sitio para vestier y cuarto de herramientas con las debidas seguridades para el personal de “SODECA LTAM SAS”, que ejecute la obra.
 9. Los plazos de entrega de los trabajos se contabilizaran días hábiles a partir de la fecha de haberse hecho efectivo el anticipo respectivo y se prorrogara cuando haya demora por parte del cliente en la entrega del mismo, de los elementos necesarios en las condiciones de montaje descritas en la cláusula No. 8 y por convenio entre las partes contratantes.
 10. El valor del impuesto de Timbre o Registro ante la administración de Hacienda de los documentos a contratos que legalicen el negocio, será por cuenta del cliente, puesto que no ha sido en cuenta en la cotización.
 11. “SODECA LATAM SAS”, se reserva el derecho de dominio sobre los equipos y demás elementos suministrados hasta tanto estos no hayan sido cancelados en su totalidad.

FIRMA DEL CLIENTE**FIRMA SODECA LATAM SAS**

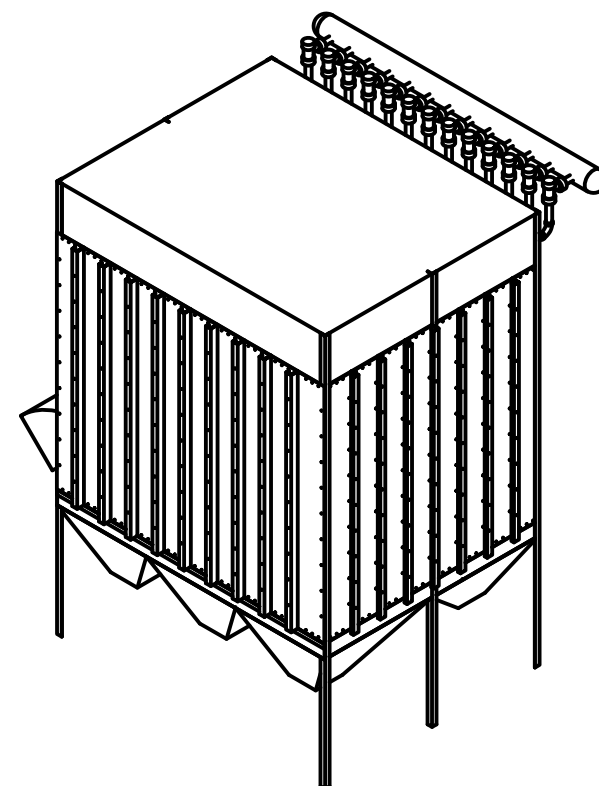
SODECA LATAM SAS Av. Calle 7 13A 44 Parque empresarial Montana Tel: 57 1 7564213- Móvil: 57 3106889238
Mosquera Cundinamarca Colombia

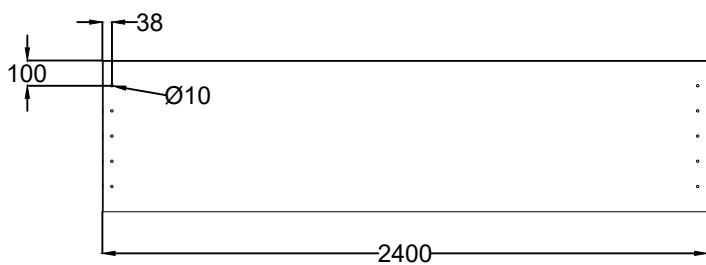
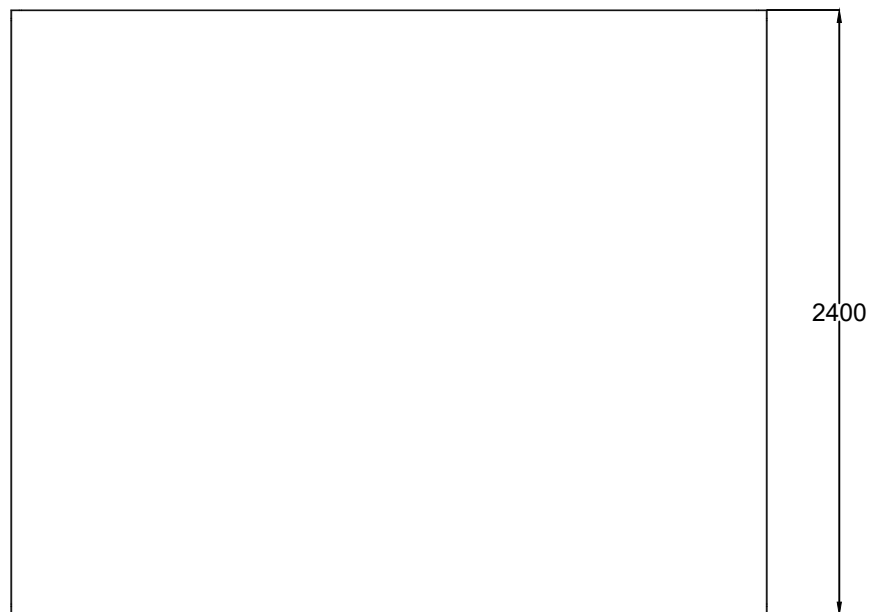
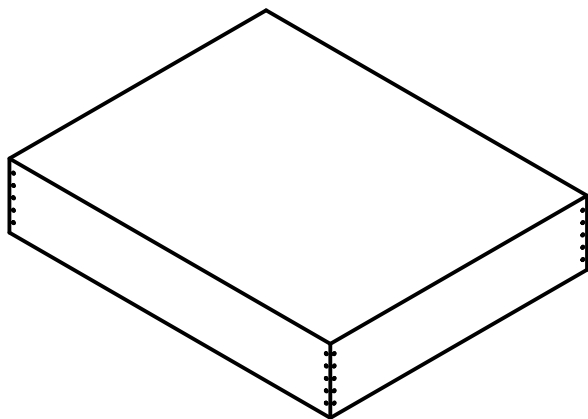
9.7 ANEXO 7

DISEÑO DE FILTRO DE MANGAS

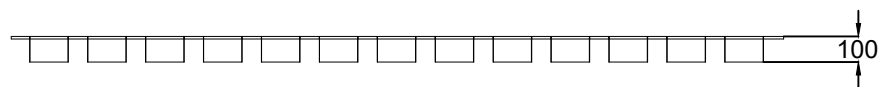
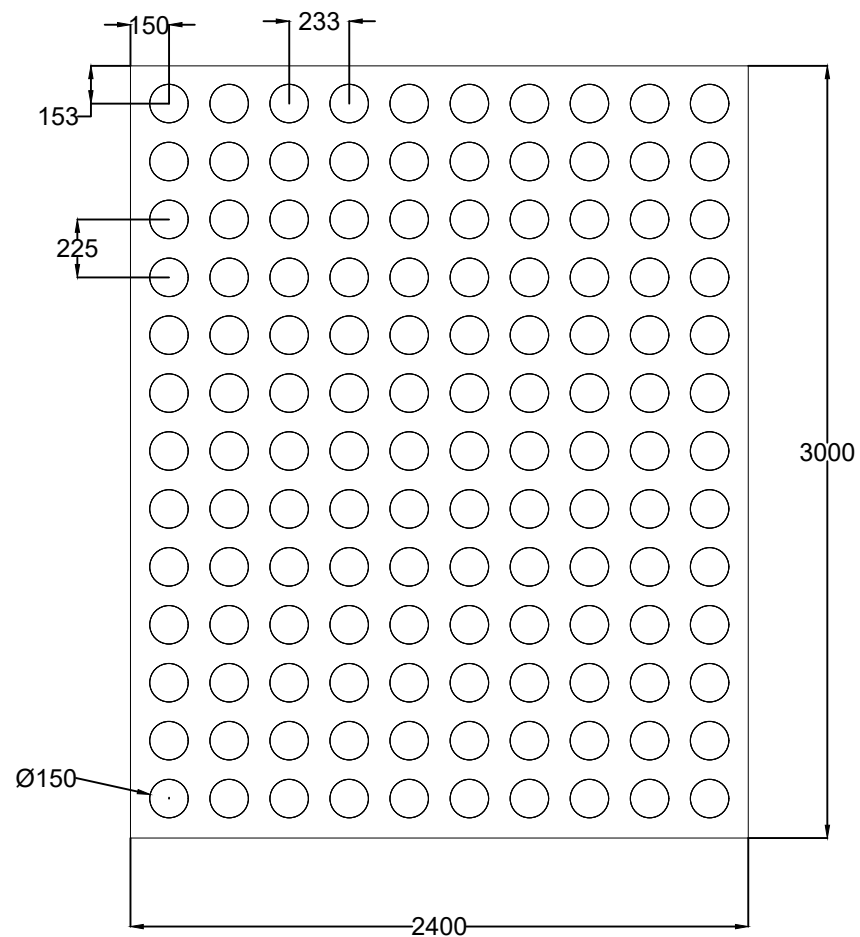
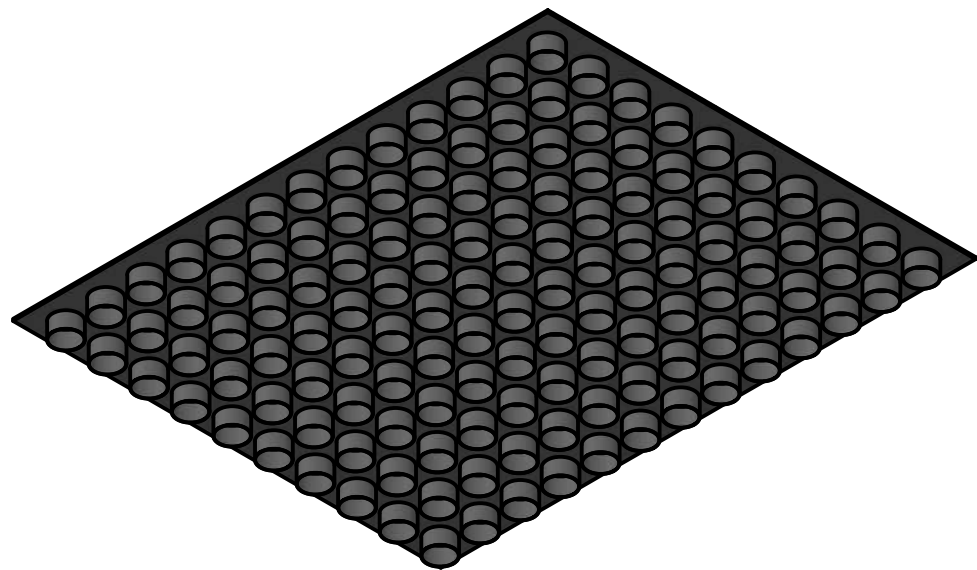


1	Entrada de aire
2	Sistema de limpieza pulse jet
3	Soporte de mangas
4	Mangas
5	Soporte de mangas
6	Contenedor de mangas
7	Estructura de filtro de mangas
8	Tolvas de descargue

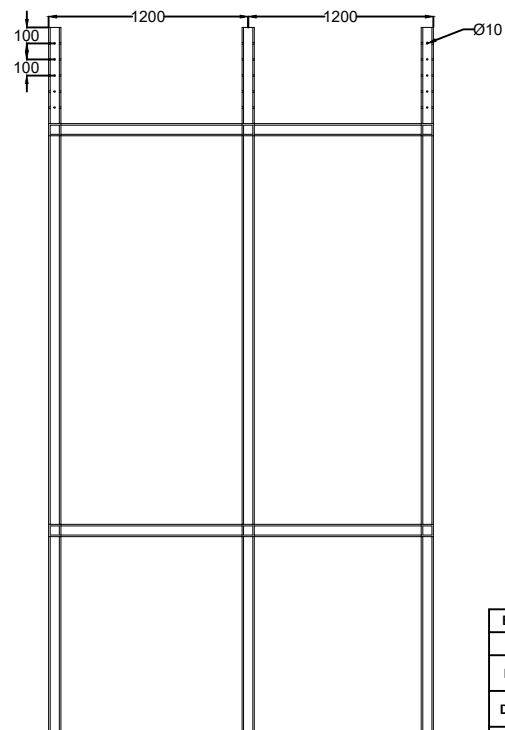
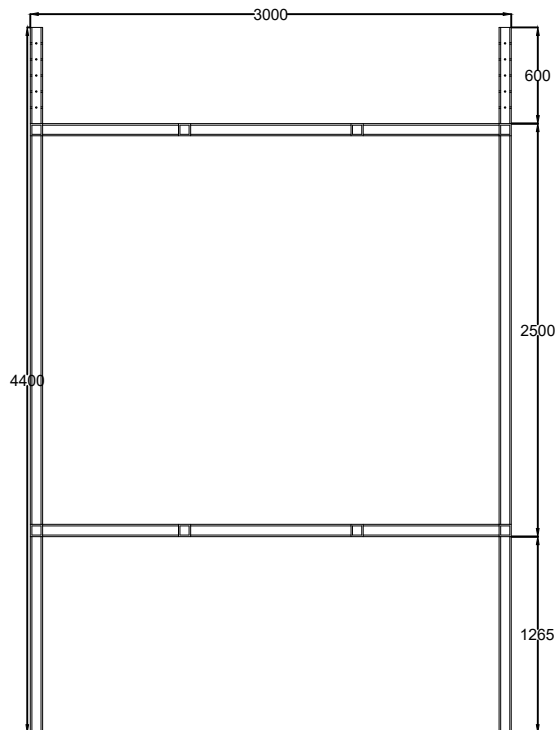
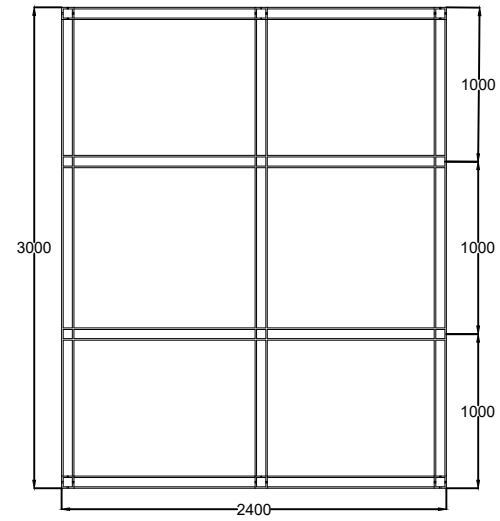
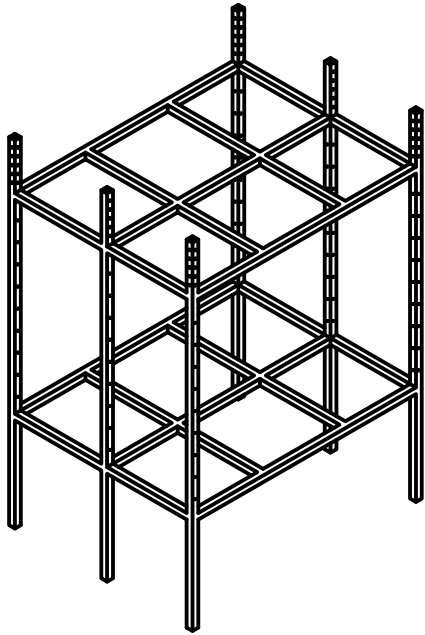




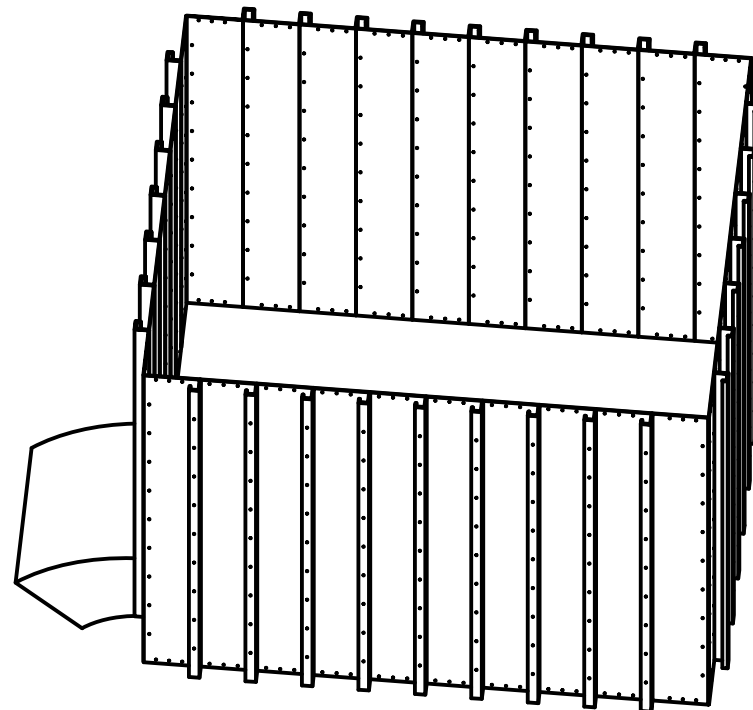
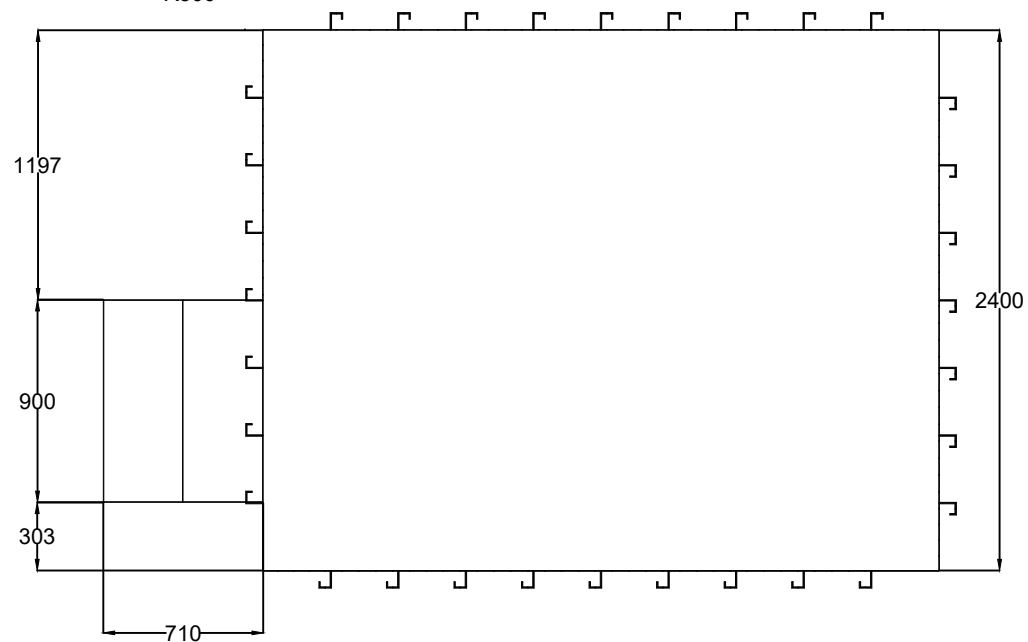
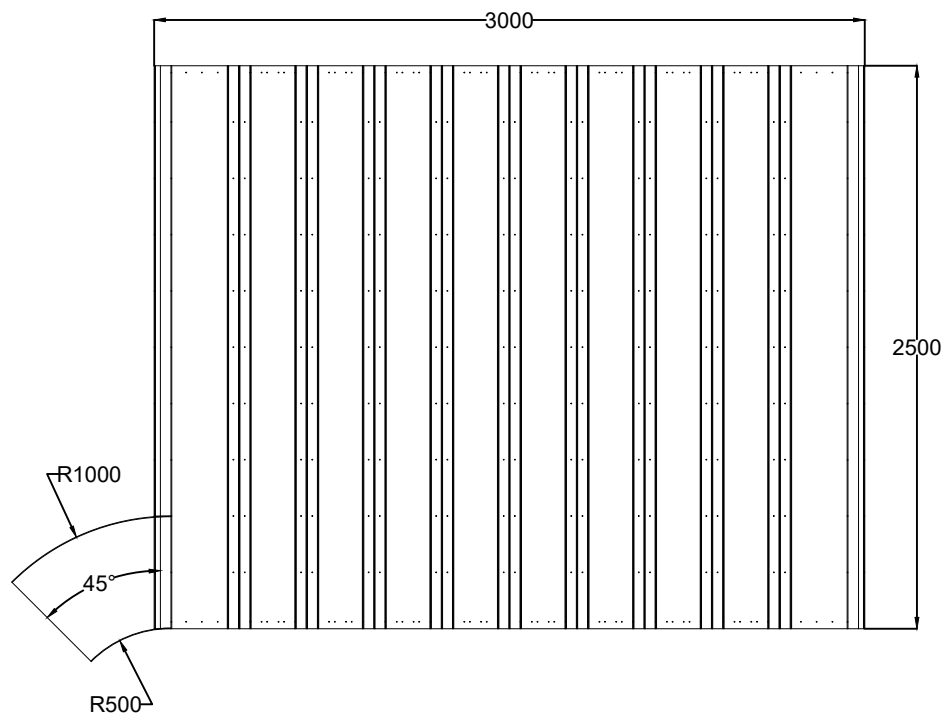
EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	FILTRO DE MANGAS		
NOMBRE	ENTRADA DE AIRE		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	1:7	1:1	



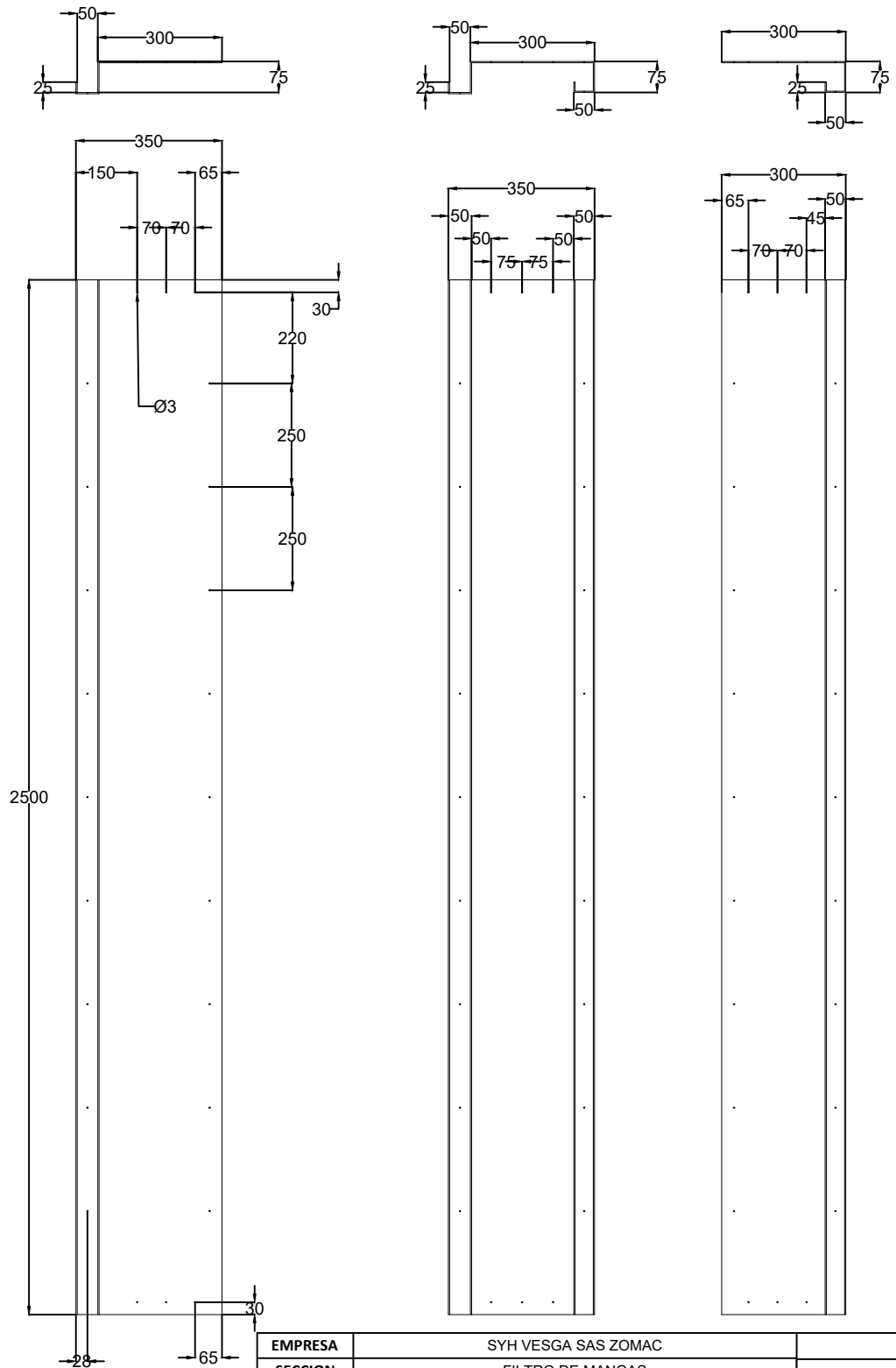
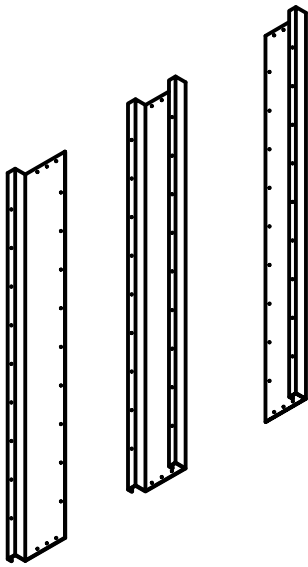
EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	FILTRO DE MANGAS		
NOMBRE	SOPORTE DE MANGAS		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	2:7	1:1	



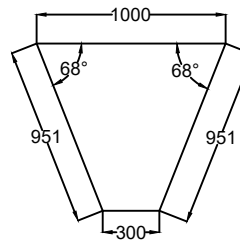
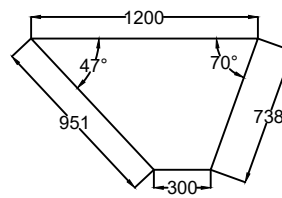
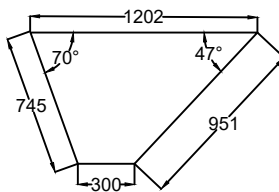
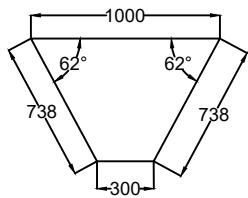
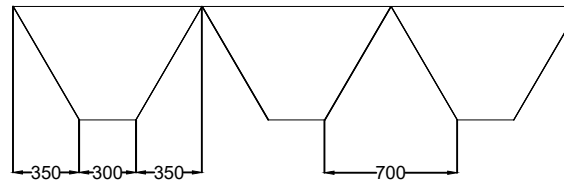
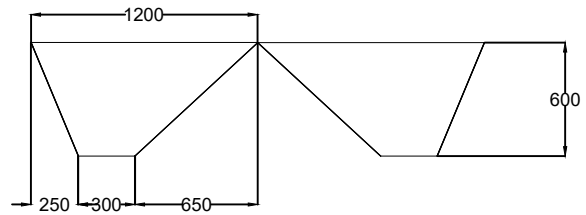
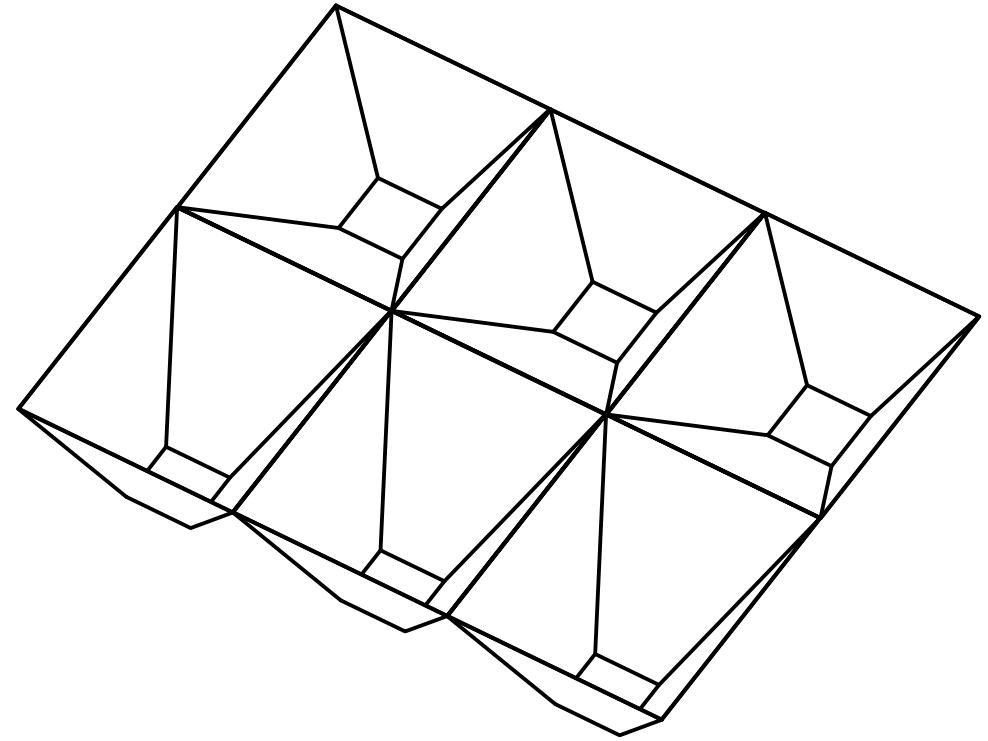
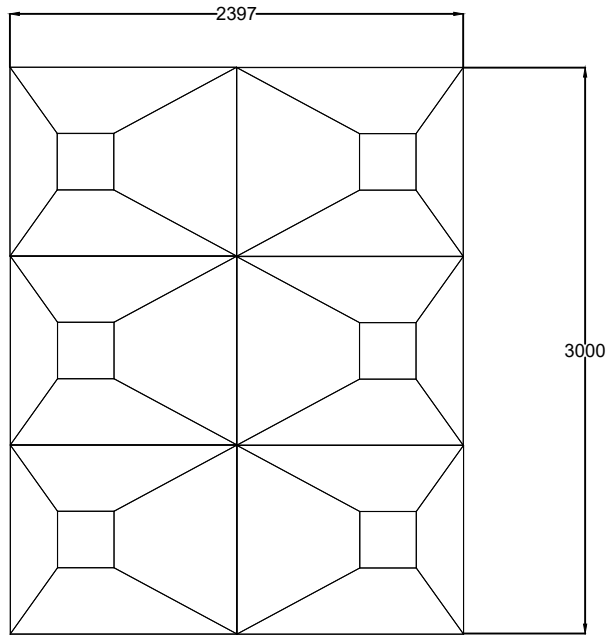
EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	FILTRO DE MANGAS		
NOMBRE	ESTRUCTURA DE FILTRO DE MANGAS		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	3:7	1:1	



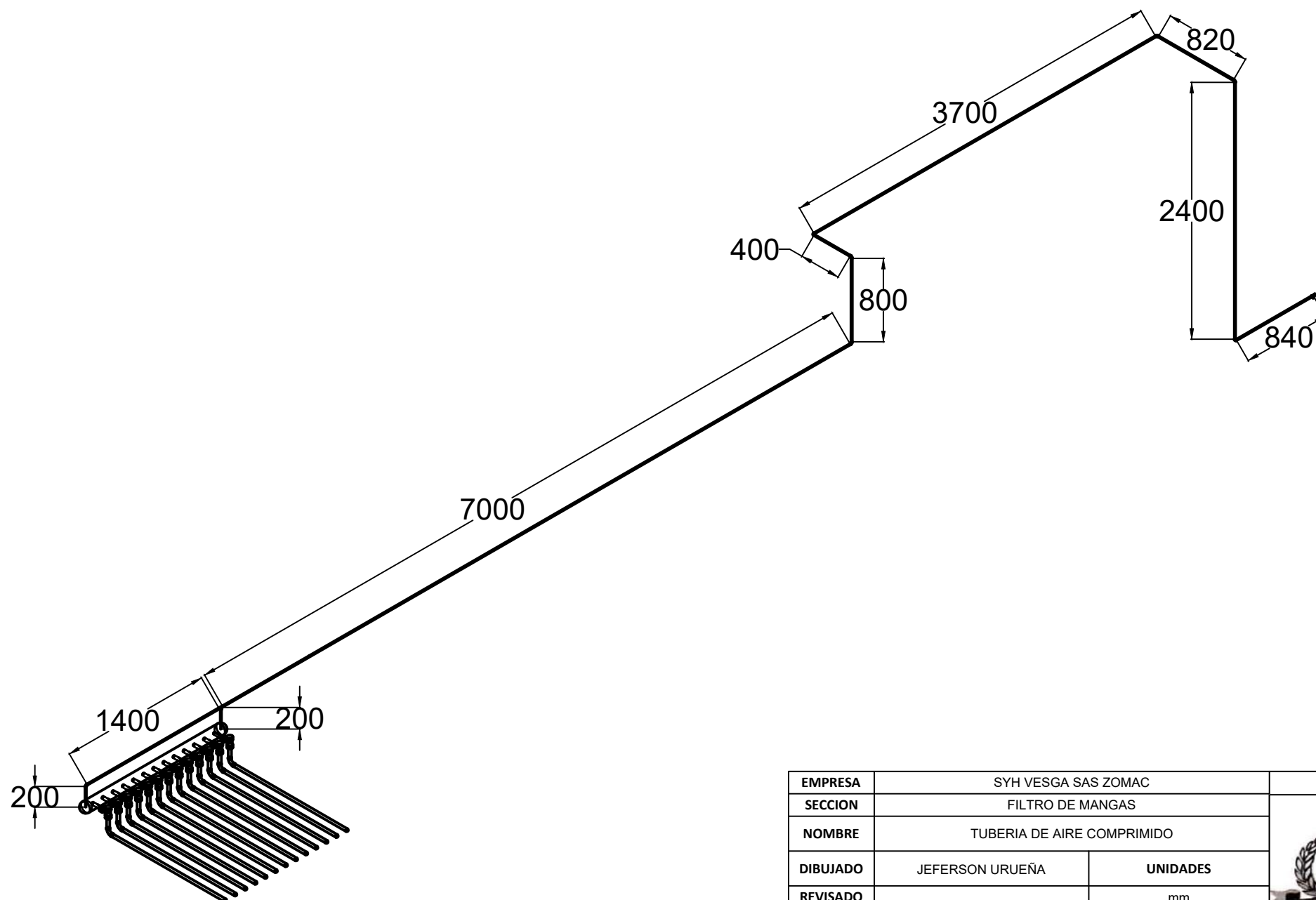
EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	FILTRO DE MANGAS		
NOMBRE	CONTENEDOR DE MANGAS		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	4:7	1:1	



EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	FILTRO DE MANGAS		
NOMBRE	DOBLES DE CONTENEDOR DE MANGAS		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	5:7	1:1	



EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	FILTRO DE MANGAS		
NOMBRE	TOLVAS DE DESCARGA		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	6:7	1:1	



EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	FILTRO DE MANGAS		
NOMBRE	TUBERIA DE AIRE COMPRIMIDO		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	7:7	1:1	

9.8 ANEXO 8

MODELO 3D Y PLANOS DEL SISTEMA DE SUCCION

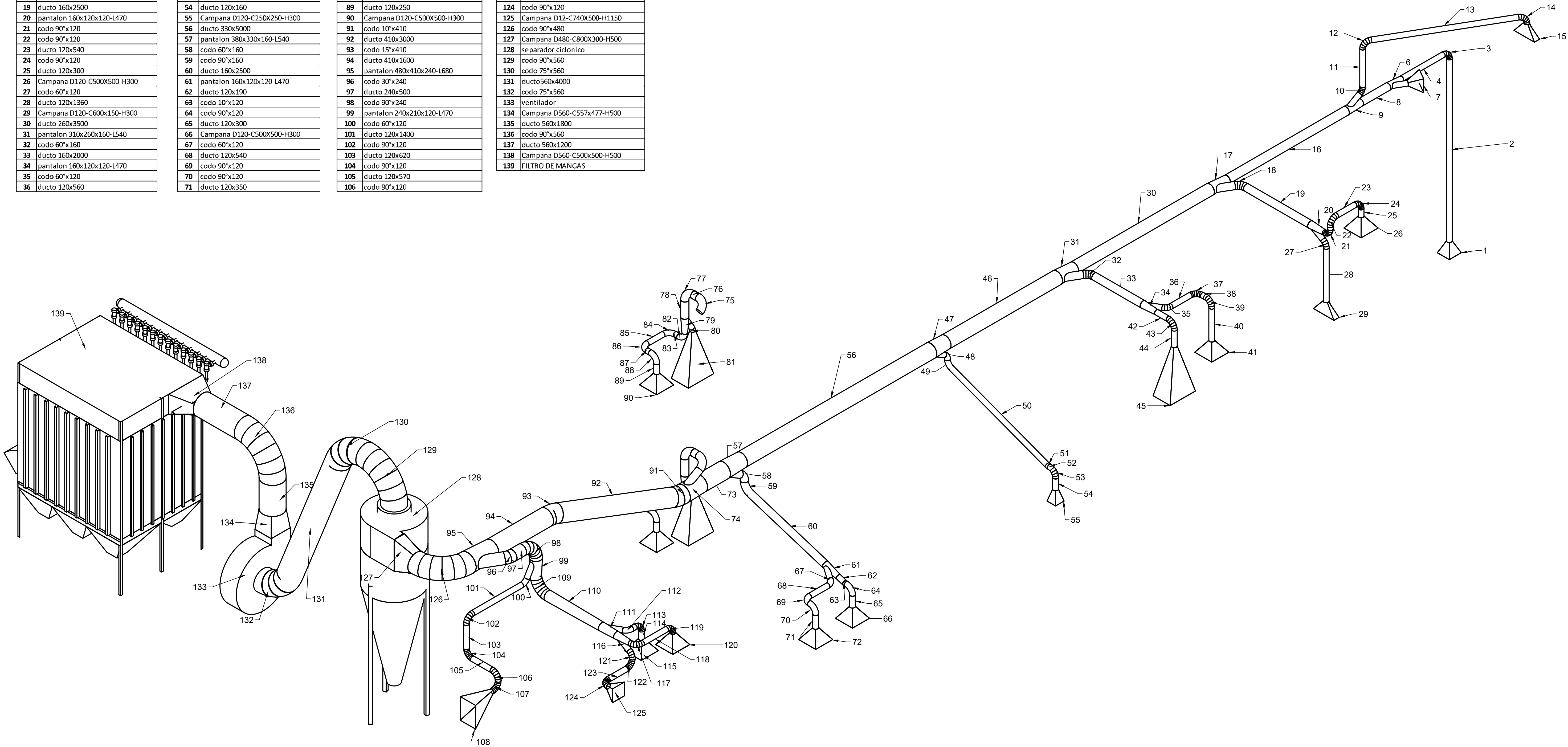
1	Campana D120-C250X250-H300
2	ducto 120x4600
3	codo 90°x120
4	ducto 120x1200
6	pantalon 160x120x120-L470
7	Campana D120-C250X250-H300
8	ducto 160x800
9	pantalon 200x160x120-L430
10	codo 60°x120
11	ducto120x955
12	codo 90°x120
13	ducto 120x3200
14	codo 90°x120
15	Campana D120-C600x150-H300
16	ducto 200x4000
17	pantalon 260x200x160-L500
18	codo 60°x160
19	ducto 160x2500
20	pantalon 160x120x120-L470
21	codo 90°x120
22	codo 90°x120
23	ducto 120x540
24	codo 90°x120
25	ducto 120x300
26	Campana D120-C500X500-H300
27	codo 60°x120
28	ducto 120x1360
29	Campana D120-C600x150-H300
30	ducto 260x3500
31	pantalon 310x260x160-L540
32	codo 60°x160
33	ducto 160x2000
34	pantalon 160x120x120-L470
35	codo 60°x120
36	ducto 120x560

37	codo 90°x120
38	ducto 120x200
39	codo 90°x120
40	ducto 120x800
41	Campana D120-C500X500-H300
42	ducto 120x260
43	codo 90°x120
44	ducto 120x420
45	Campana D120-C740X500-H1150
46	ducto310x3300
47	pantalon 330x310x120-L480
48	codo 60°x120
49	codo 90°x120
50	ducto 120x3000
51	codo 10°x120
52	codo 20°x120
53	codo 90°x120
54	ducto 120x160
55	Campana D120-C250X250-H300
56	ducto 330x5000
57	pantalon 380x330x160-L540
58	codo 60°x160
59	codo 90°x160
60	ducto 160x2500
61	pantalon 160x120x120-L470
62	ducto 120x190
63	codo 10°x120
64	codo 90°x120
65	ducto 120x300
66	Campana D120-C500X500-H300
67	codo 60°x120
68	ducto 120x540
69	codo 90°x120
70	codo 90°x120
71	ducto 120x350

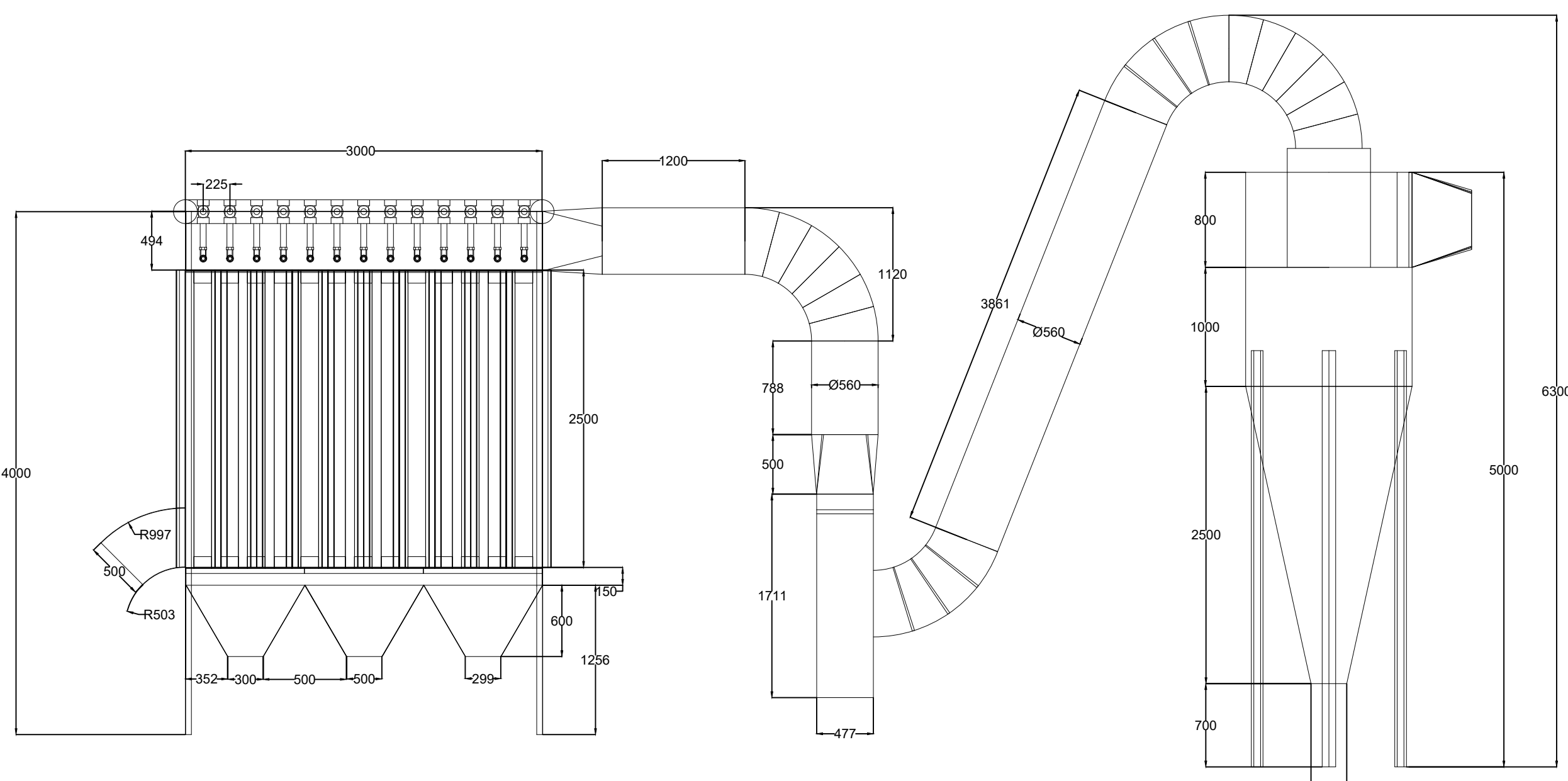
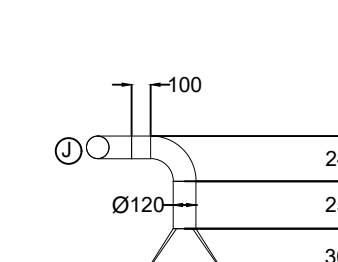
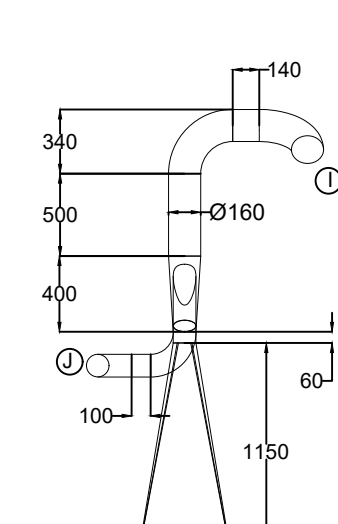
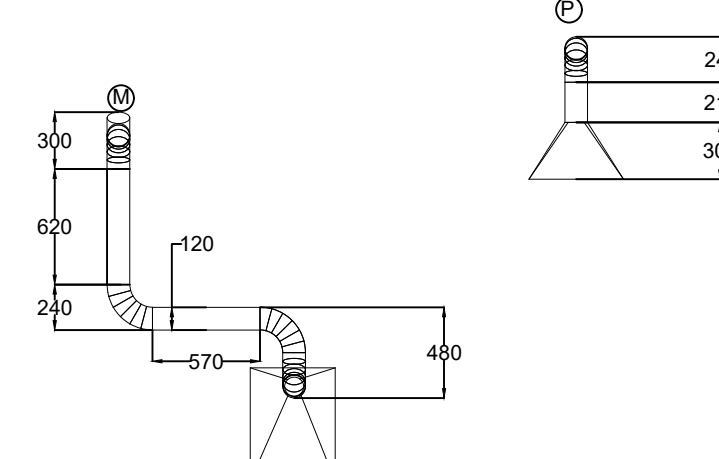
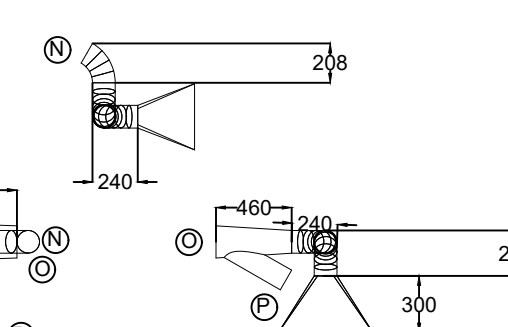
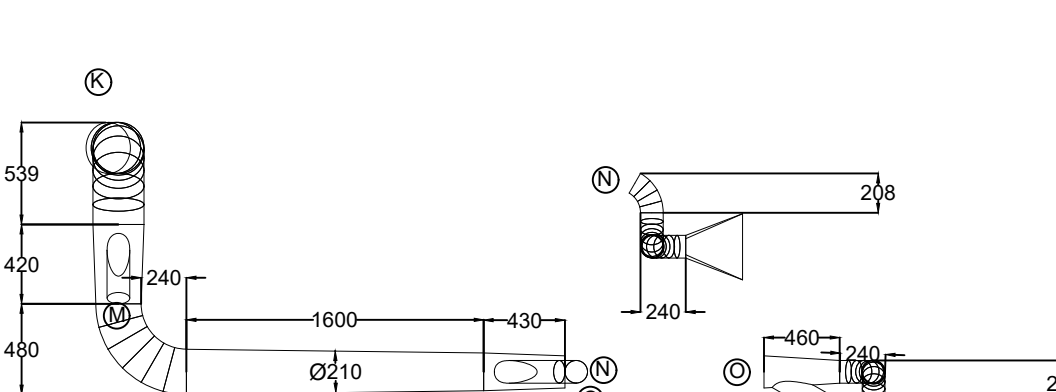
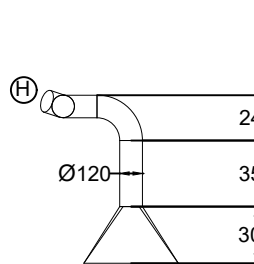
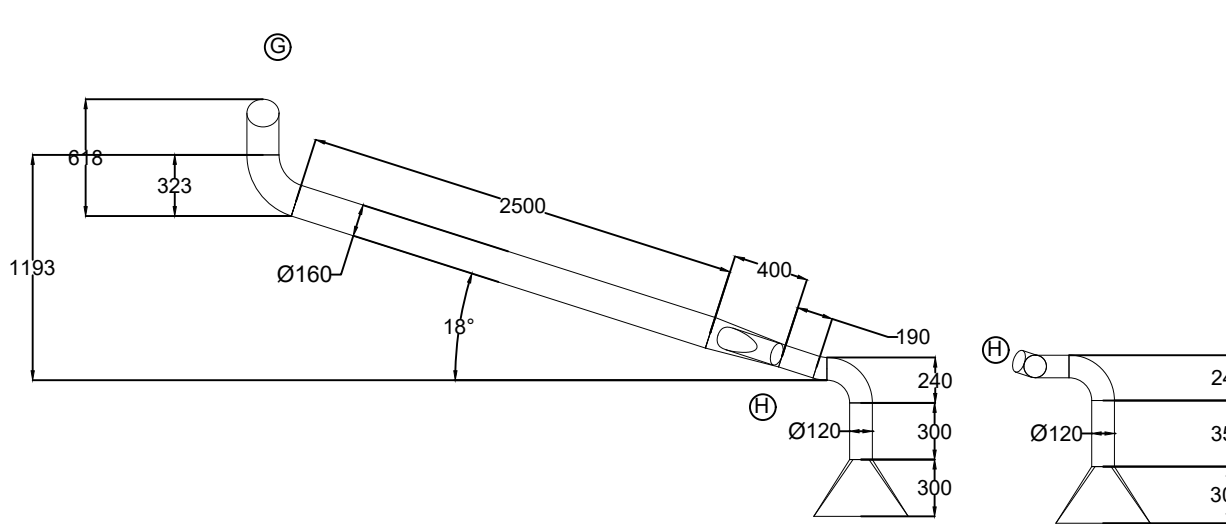
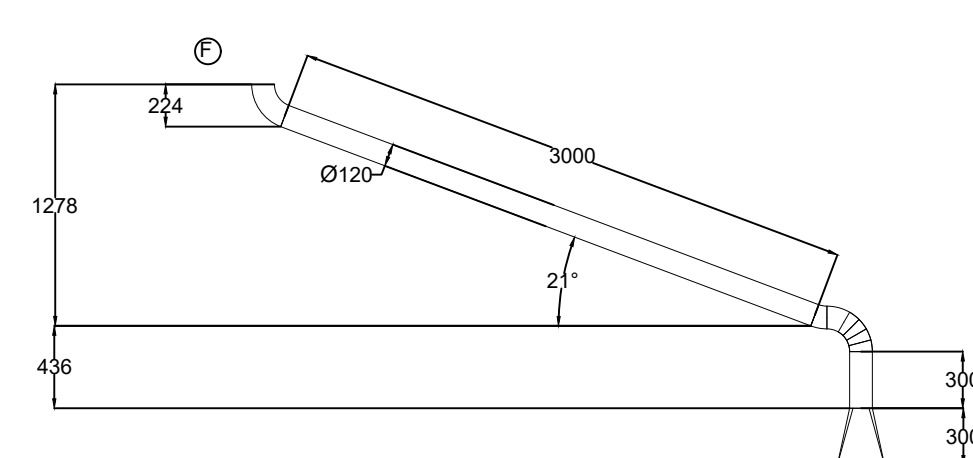
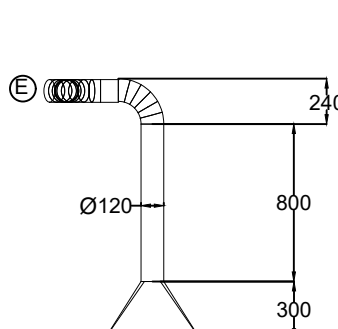
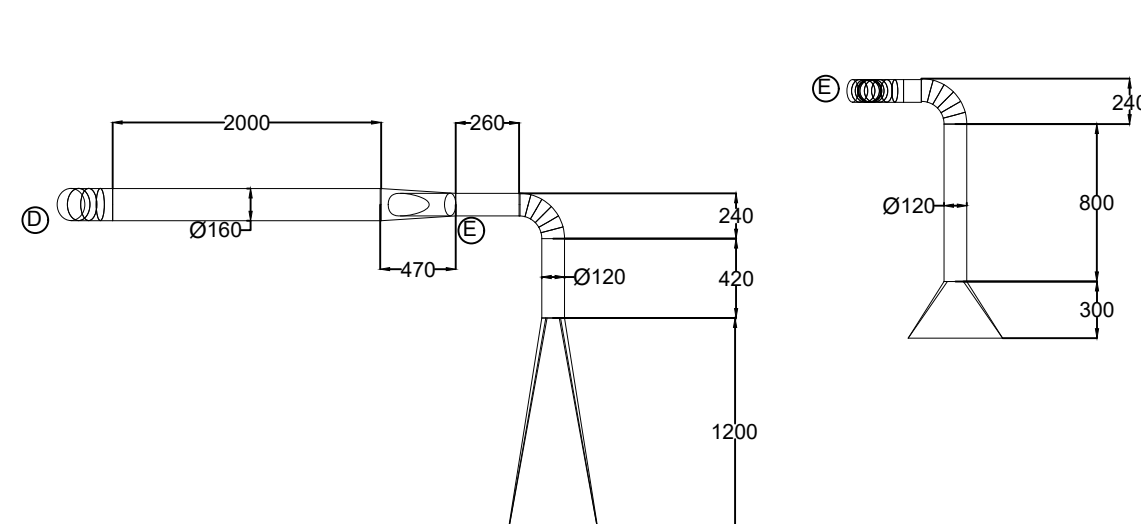
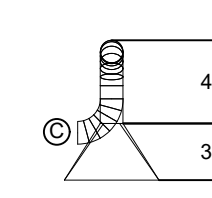
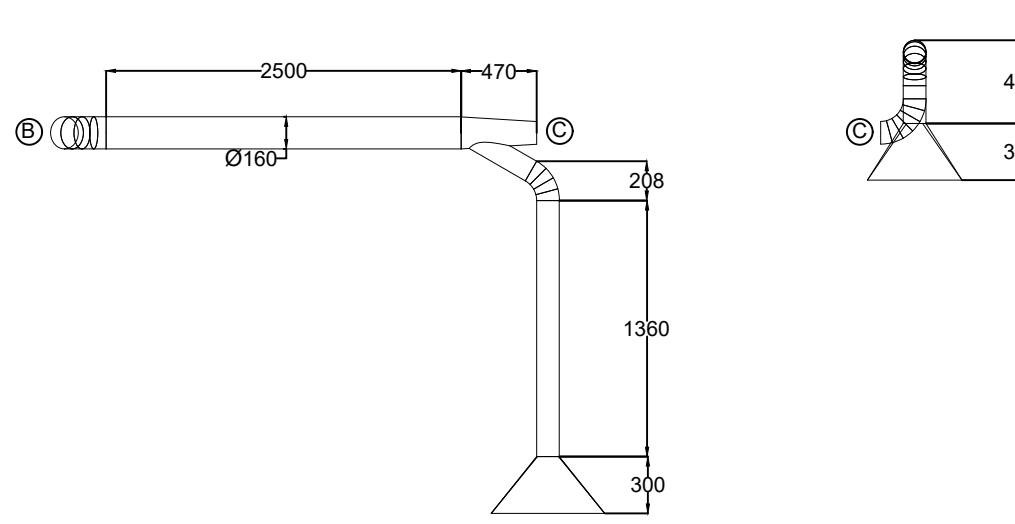
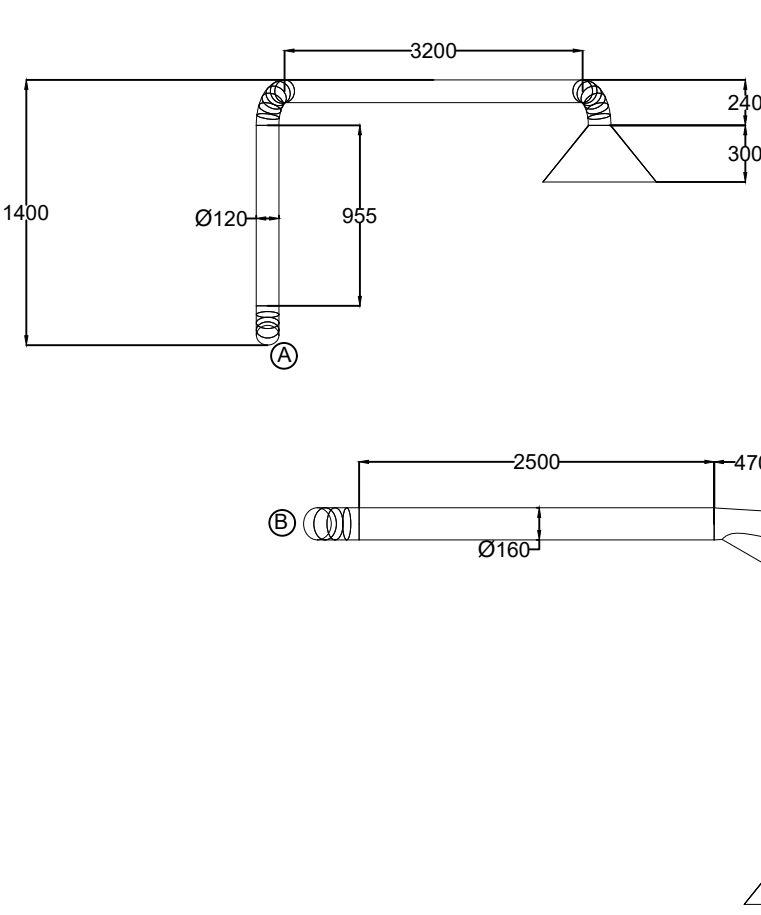
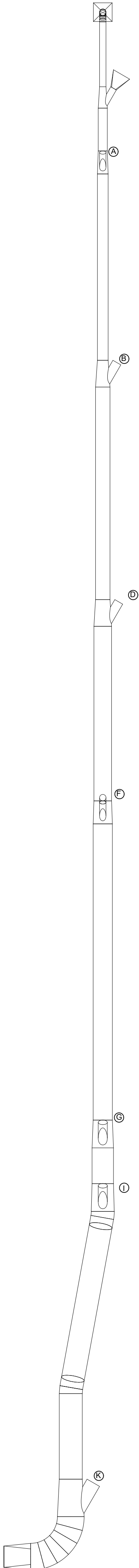
72	Campana D120-C500X500-H300
73	ducto 380x700
74	pantalon 410x380x160-L550
75	codo 90°x160
76	ducto 160x150
77	codo 90°x160
78	ducto 160x500
79	pantalon 160x120x120-L470
80	codo 30°x120
81	Campana D120-C740X500-H1150
82	codo 90°x120
83	ducto 120x100
84	codo 90°x120
85	ducto 120x500
86	codo 90°x120
87	ducto 120x100
88	ducto 90°x120
89	ducto 120x250
90	Campana D120-C500X500-H300
91	codo 10°x410
92	ducto 410x3000
93	codo 15°x410
94	ducto 410x1600
95	pantalon 480x410x240-L680
96	codo 30°x240
97	ducto 240x500
98	codo 90°x240
99	pantalon 240x210x120-L470
100	codo 60°x120
101	ducto 120x1400
102	codo 90°x120
103	ducto 120x620
104	codo 90°x120
105	ducto 120x570
106	codo 90°x120

107	codo 90°x120
108	Campana D120-C740X500-H1150
109	codo 90°x210
110	ducto 210x1600
111	pantalon 210x180x120-L430
112	codo 90°x120
113	codo 90°x120
114	ducto 12x210
115	Campana D120-C500X500-H300
116	pantalon 180x120x120-L460
117	codo 90°x120
118	ducto 120x700
119	codo 90°x120
120	Campana D120-C500X500-H300
121	codo 60°x120
122	codo 90°x120
123	ducto 120x550
124	codo 90°x120
125	Campana D12-C740X500-H1150
126	codo 90°x480
127	Campana D480-C800X300-H500
128	separador ciclonico
129	codo 90°x560
130	codo 75°x560
131	ducto560x4000
132	codo 75°x560
133	ventilador
134	Campana D560-C557x477-H500
135	ducto 560x1800
136	codo 90°x560
137	ducto 560x1200
138	Campana D560-C500x500-H500
139	FILTRO DE MANGAS

VENTILADOR NECESARIO		
	M3/S	M3/MIN
CAUDAL	3.7	222
	mm H2O	in H2O
PRESION	449.16	17.68



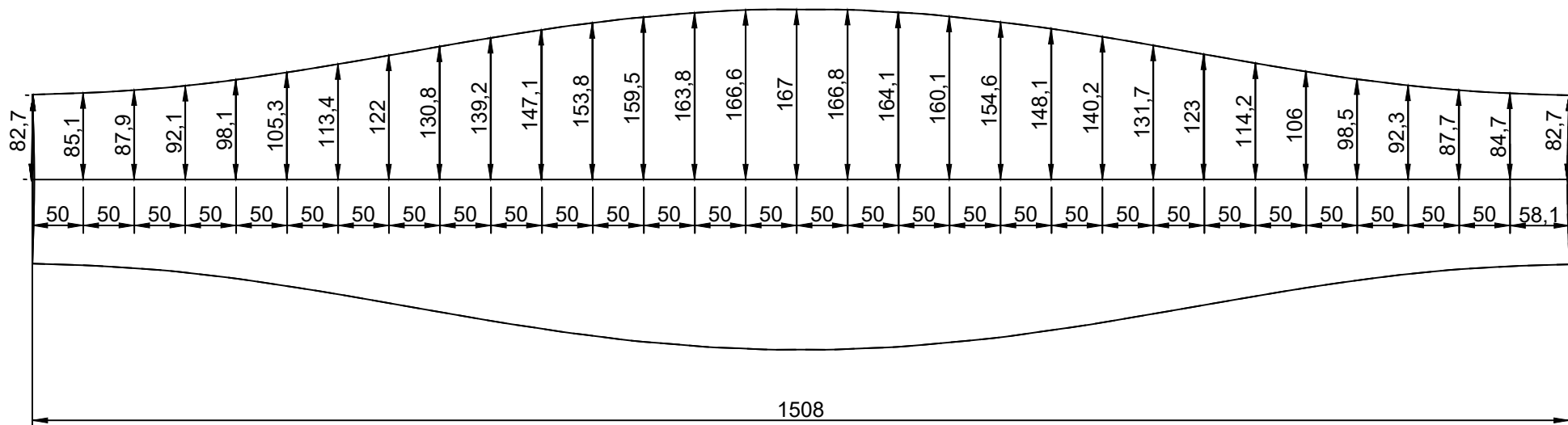
EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	MODELO 3D SISTEMA DE SUCCION		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	1:3	1:1	



EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	VISTA FRONTAL		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	3:3	1:1	

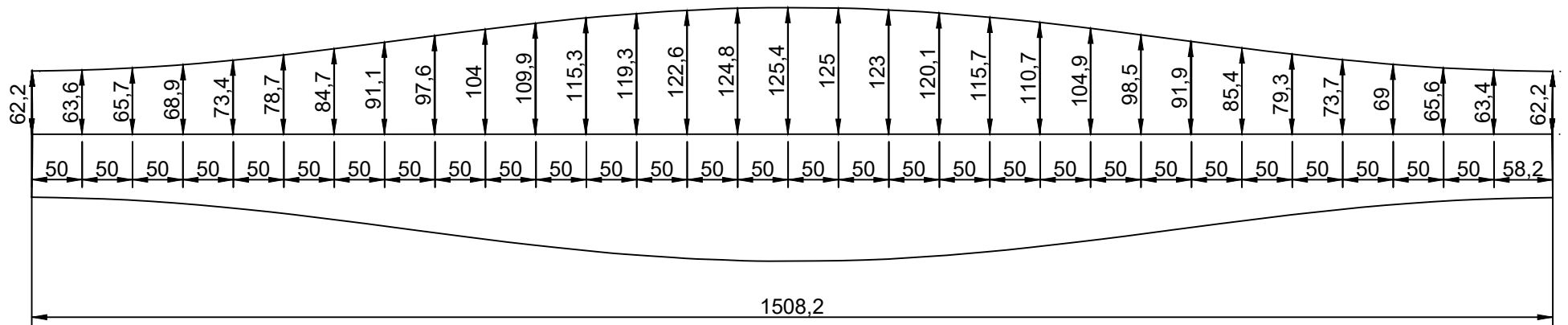
9.9 ANEXO 9

PLANOS DE DESARROLLO PARA CURVAS Y CODOS



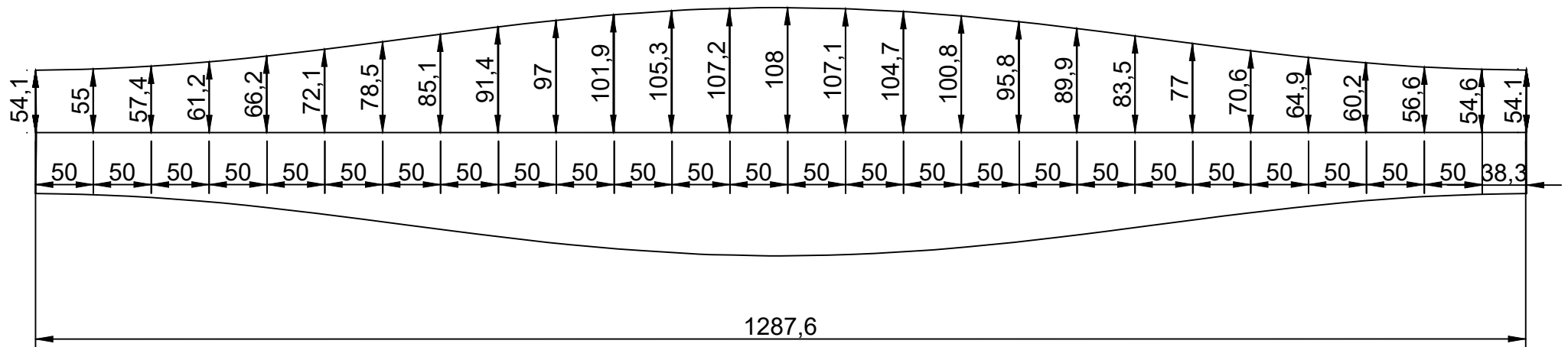
[20°x480

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CDDO 20°X480		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	1:10	1:1	



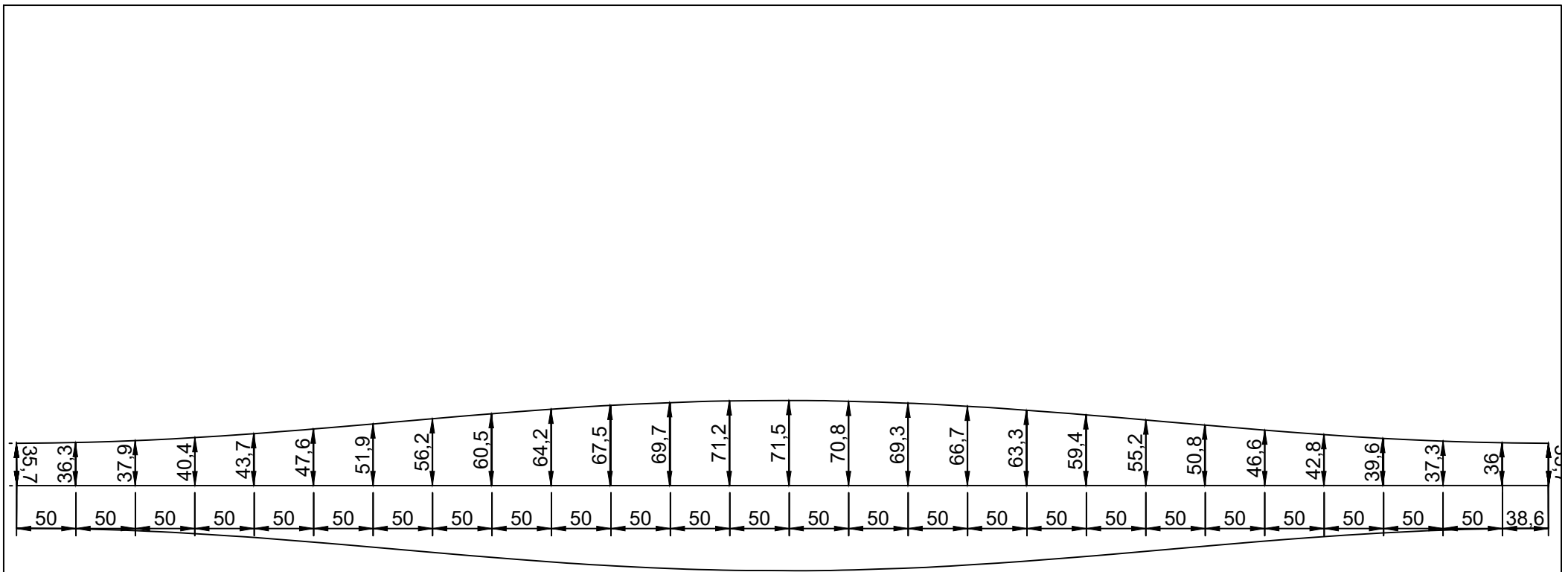
C 15°x480

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CODO 15°X480		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	2:10	1:1	



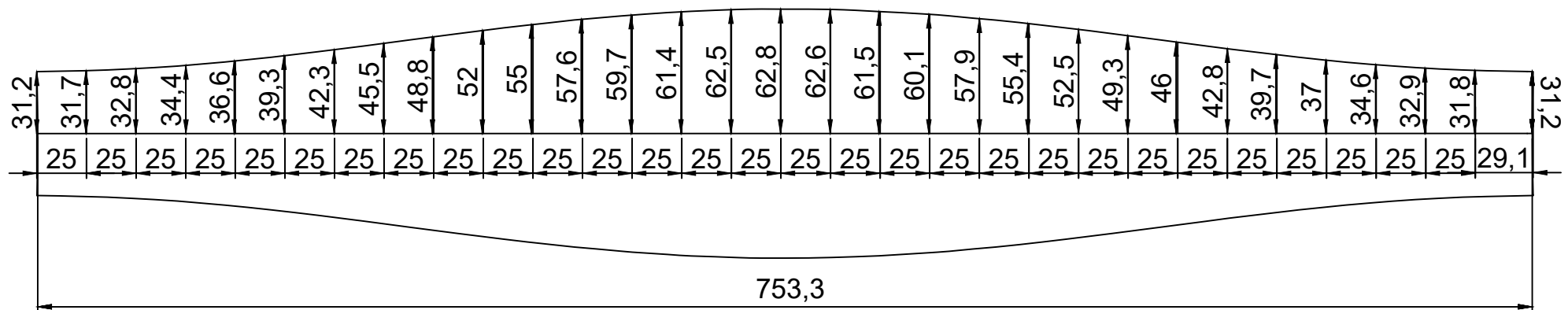
C 15°x410

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CODO 15°X410		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	3:10	1:1	



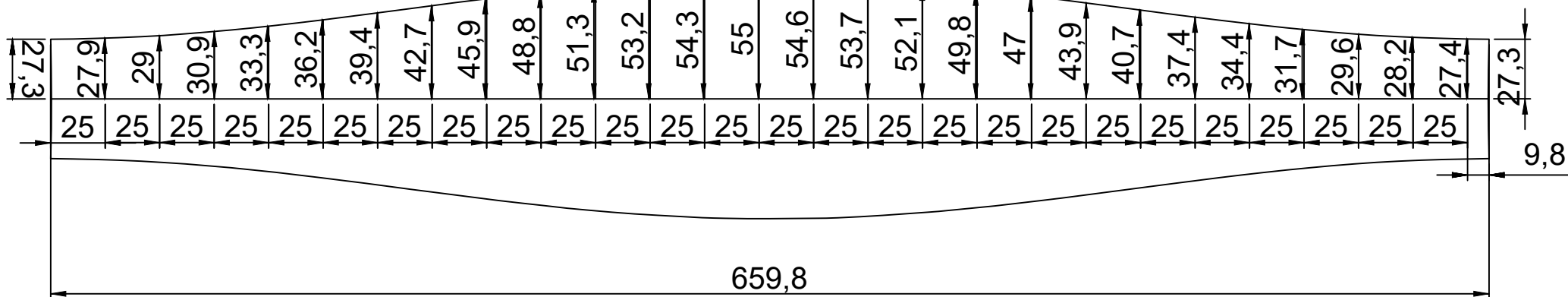
C 10°x410

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CODO 10°X410		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	4:10	1:1	



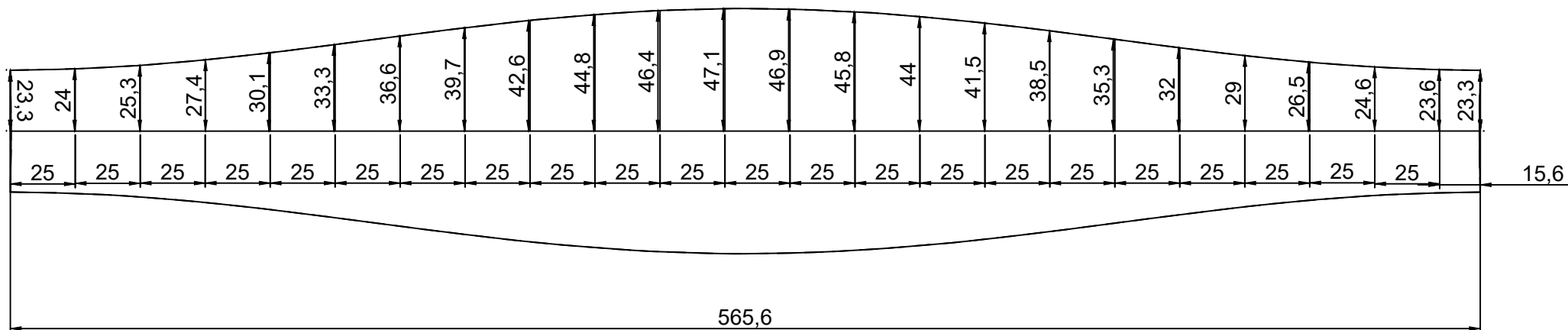
C 15°x240

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CODO 15°X240		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	5:10	1:1	



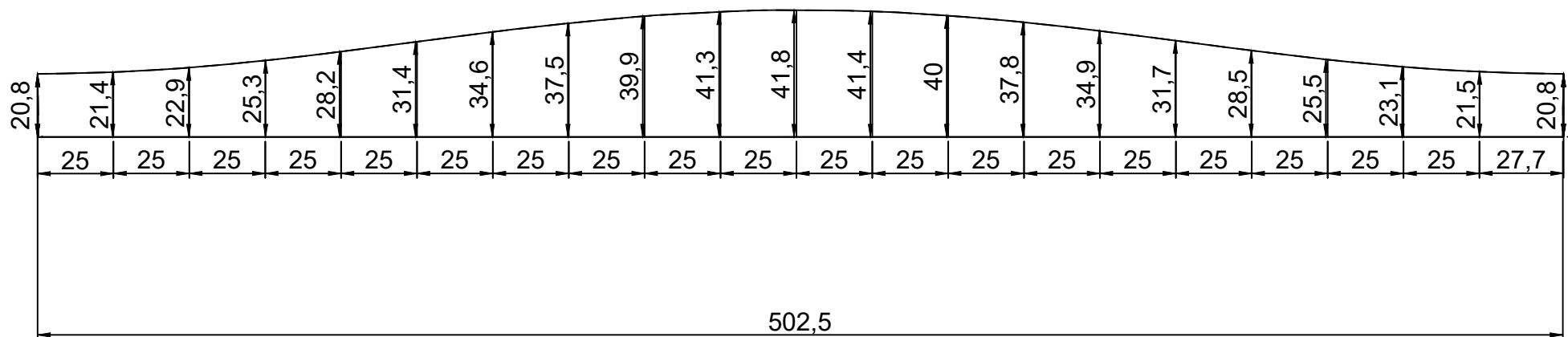
C 15°x210

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CODO 15°X210		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	6:10	1:1	



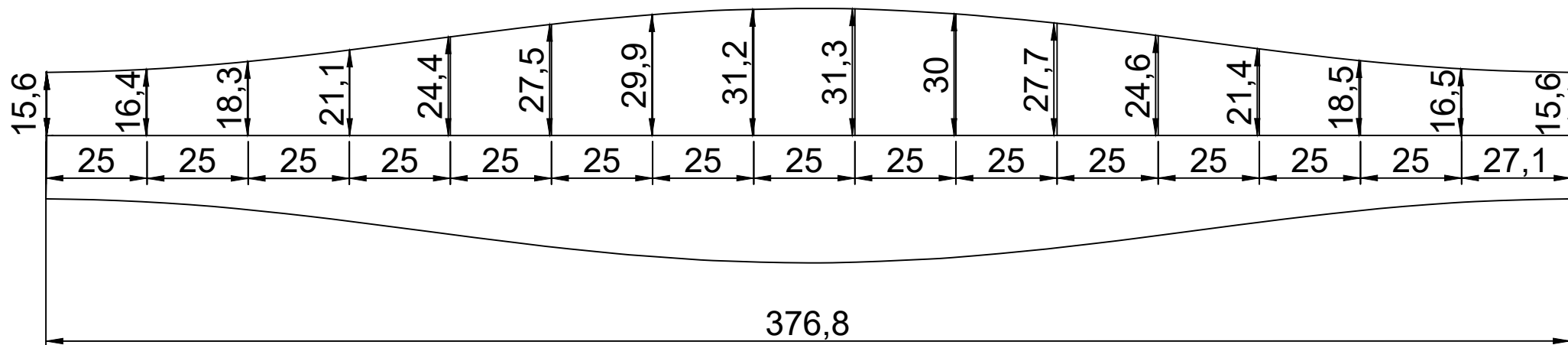
C 15°x180

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CODO 15°X180		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	7:10	1:1	



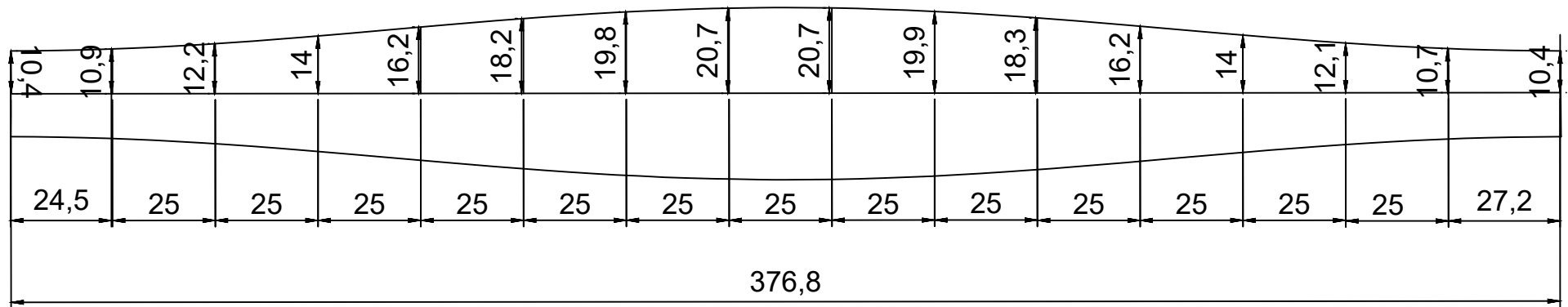
C 15°x160

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CODO 15°X160		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	8:10	1:1	



C 15°x120

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CODO 15°X120		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	9:10	1:1	

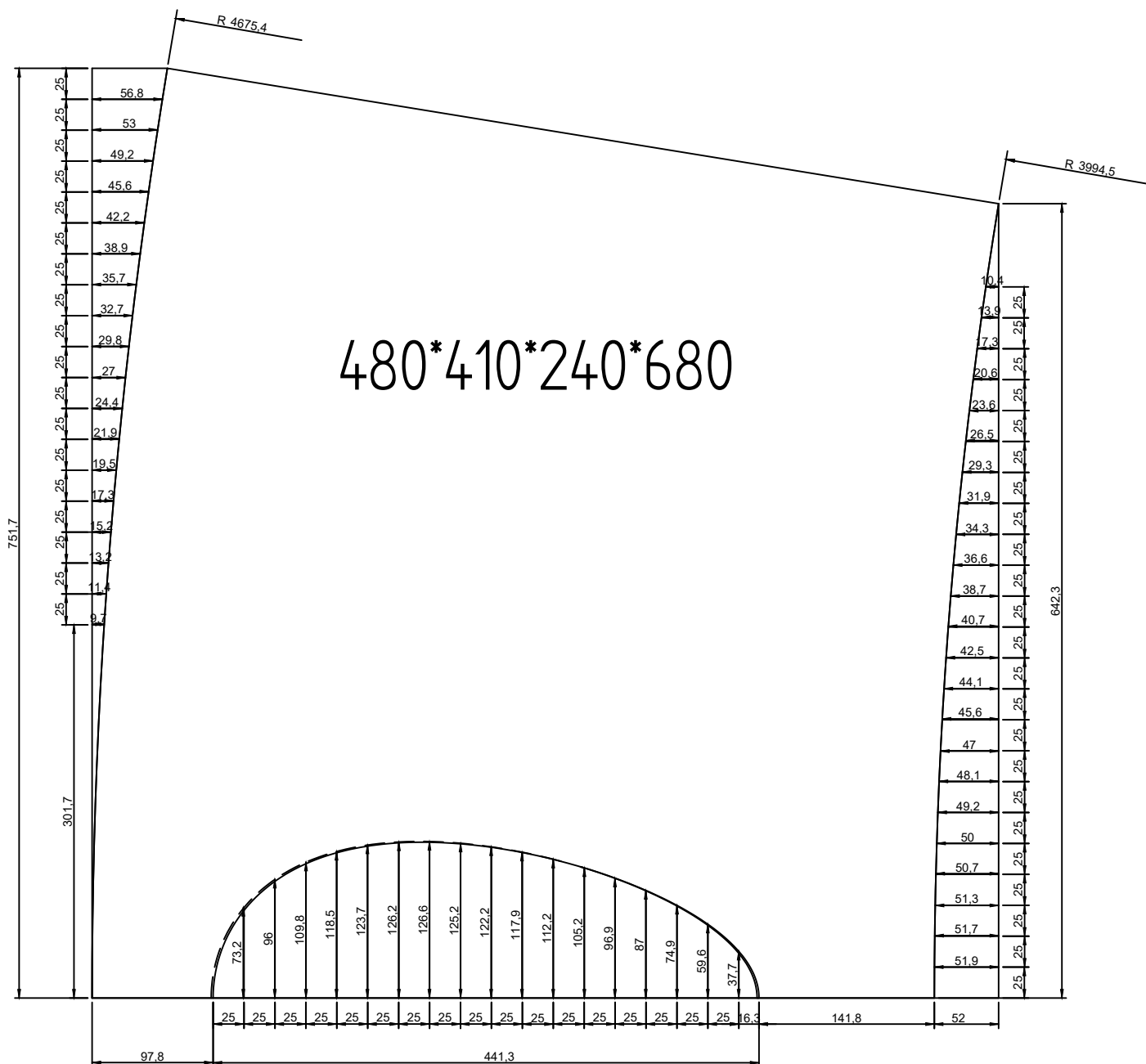


C 10°x120

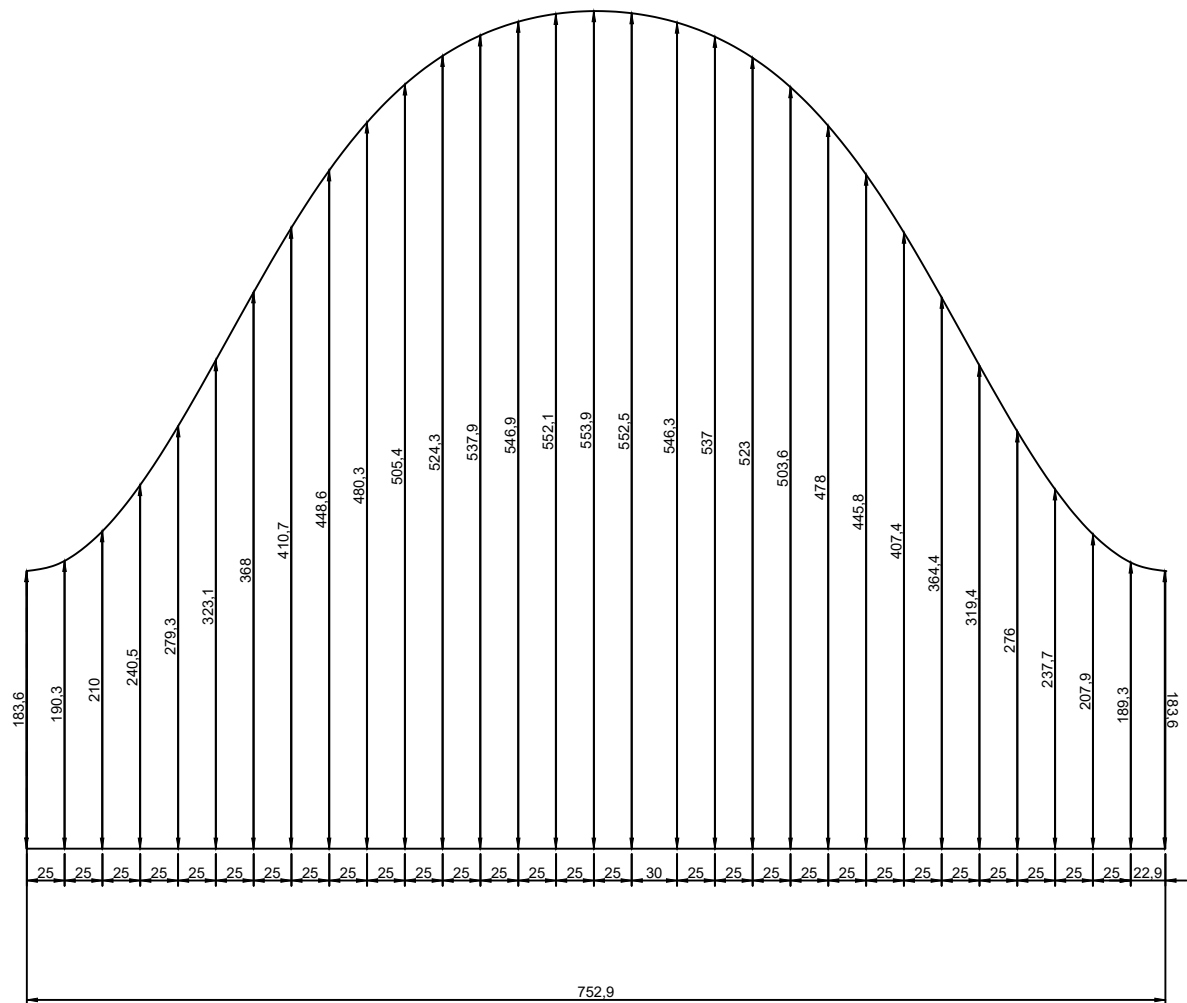
EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CODO 10°X120		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	10:10	1:1	

9.10ANEXO 10

PLANOS DE DESARROLLO DE ENTRADAS A RAMALES (PANTALONES)

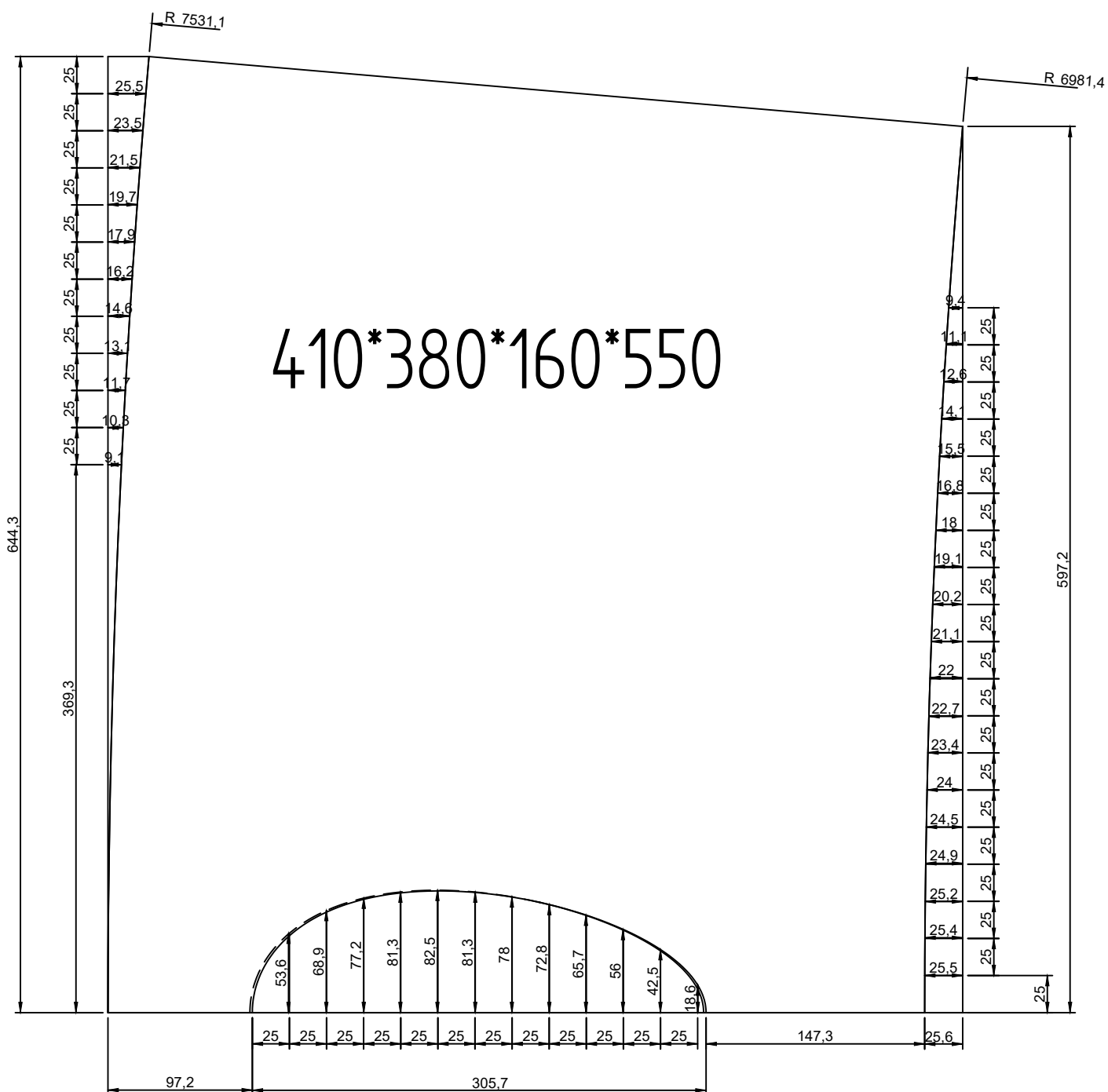


EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 480X410X240X680		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	1:22	1:1	

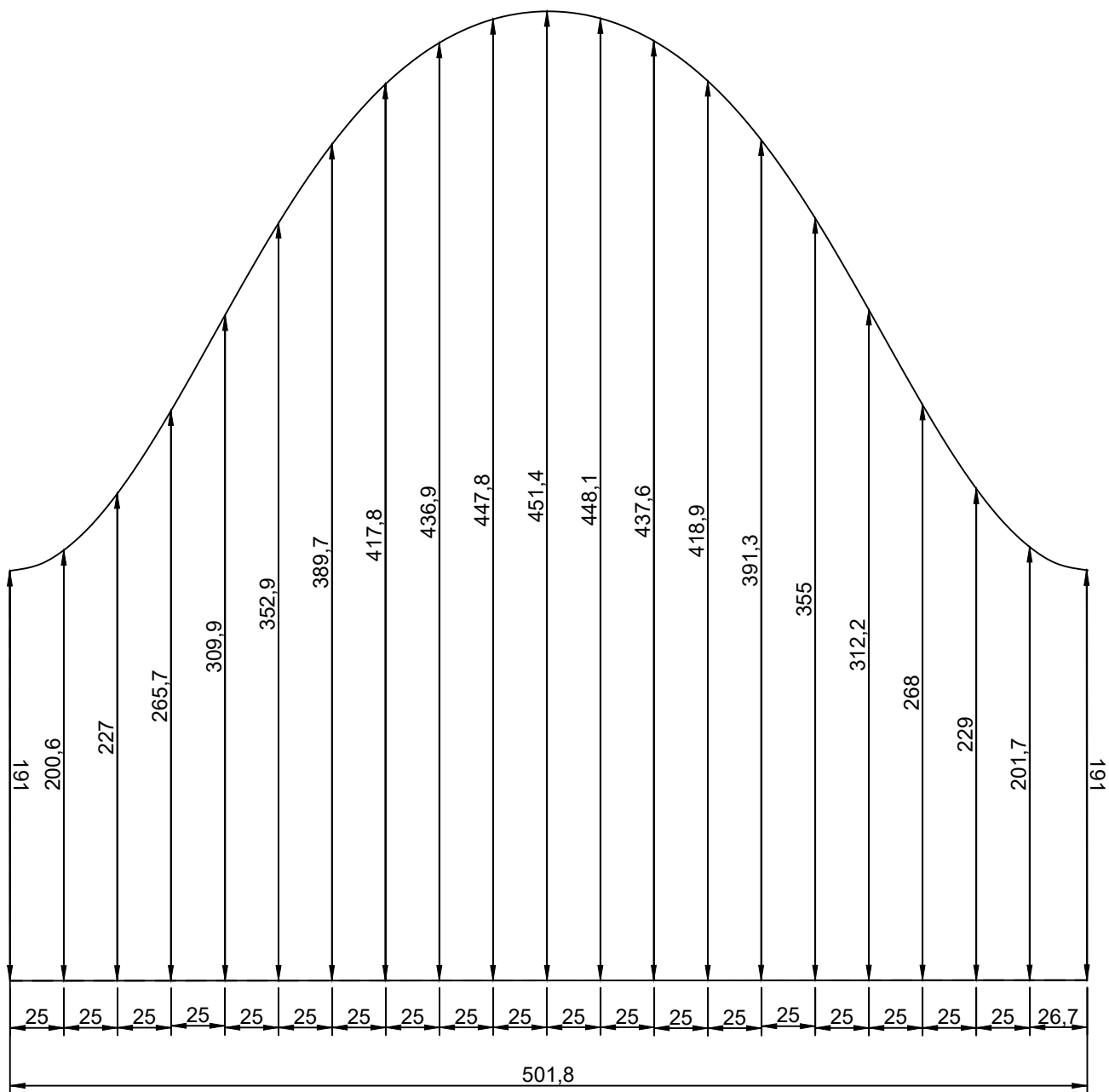


480*410*240*680

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 480X410X240X680		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	2:22	1:1	

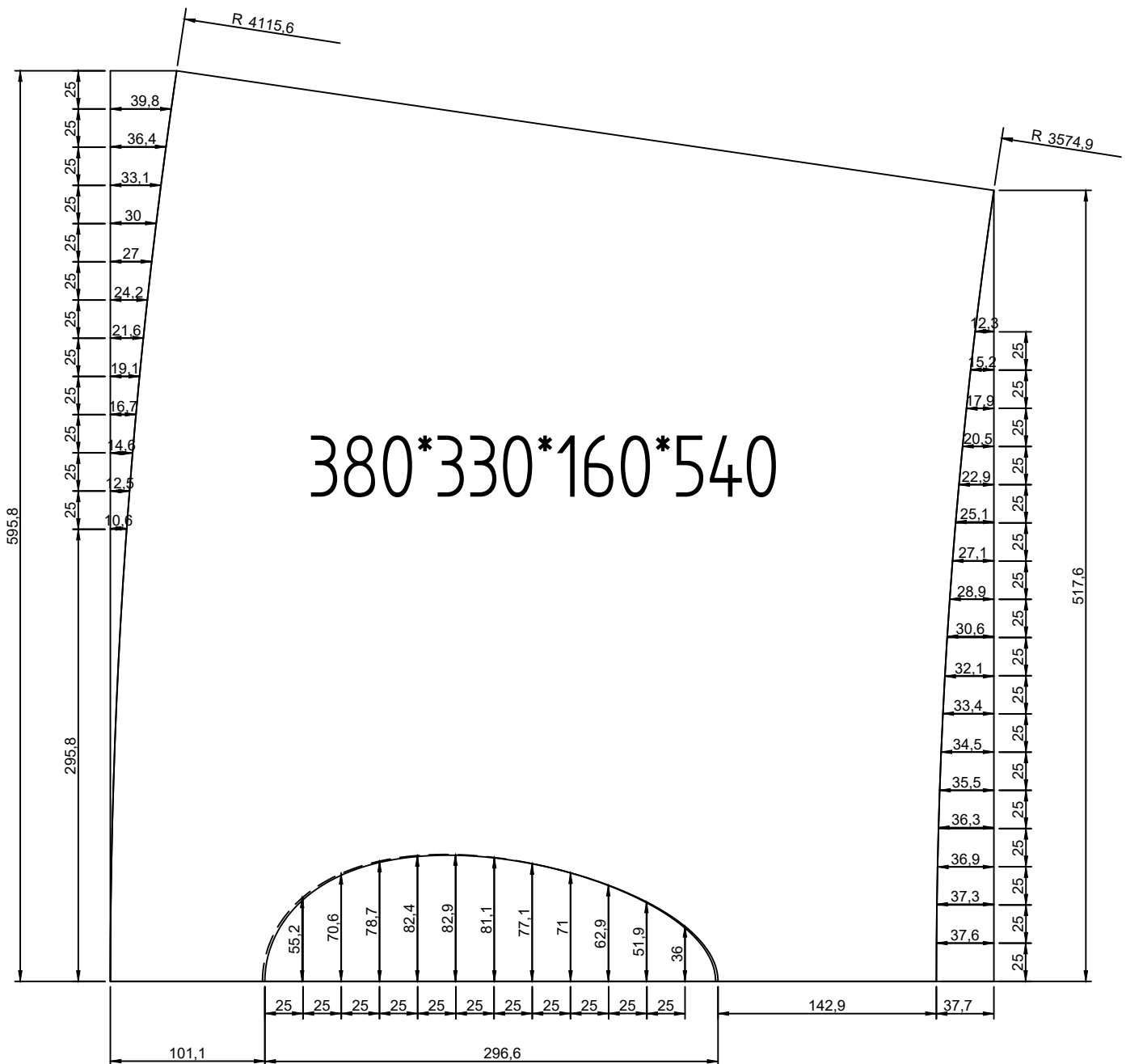


EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 410X380X160X550		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	3:22	1:1	

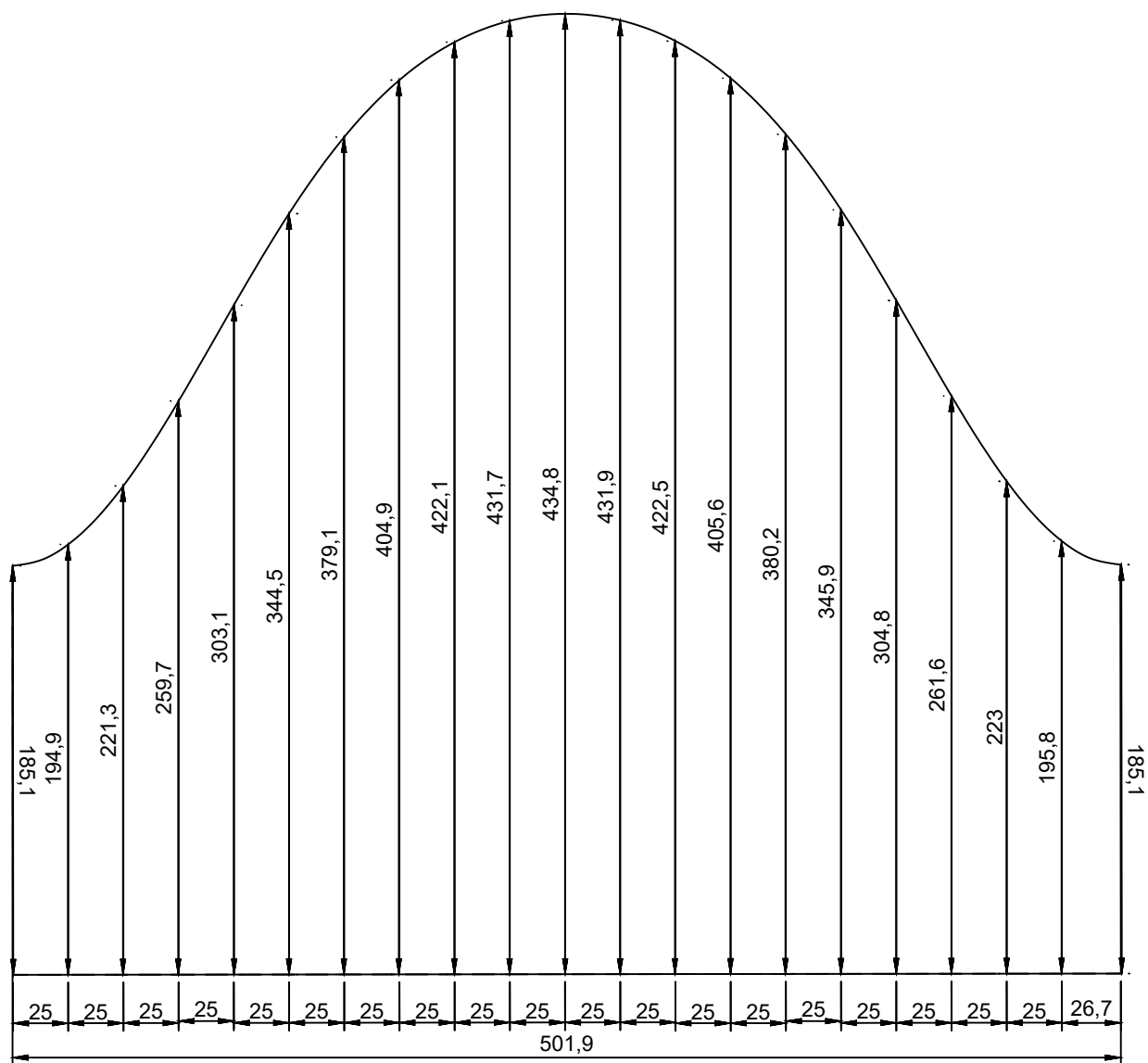


410*380*160*550

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 410X380X160X550		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	4:22	1:1	



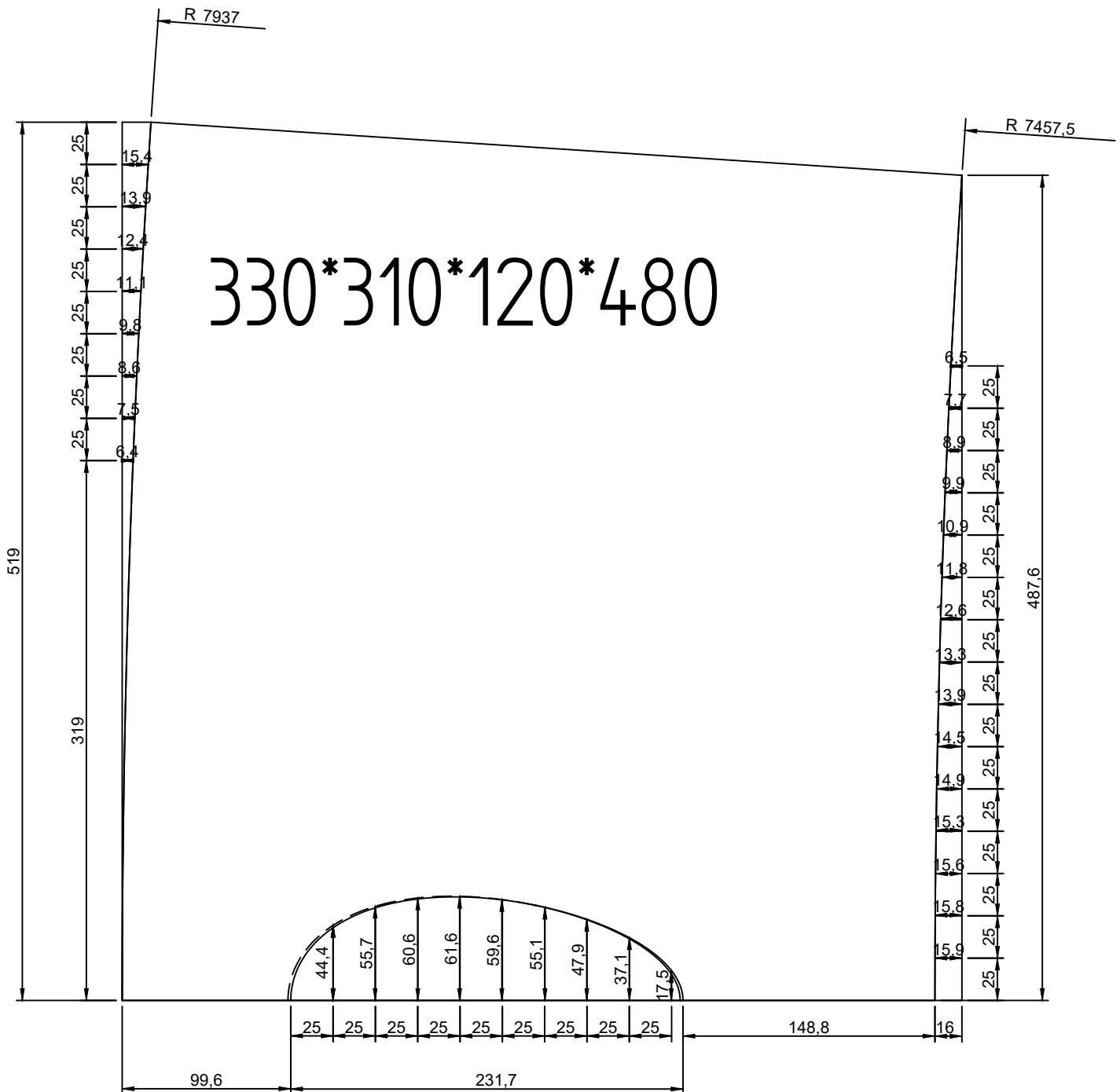
EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 380X330X160X540		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	5:22	1:1	



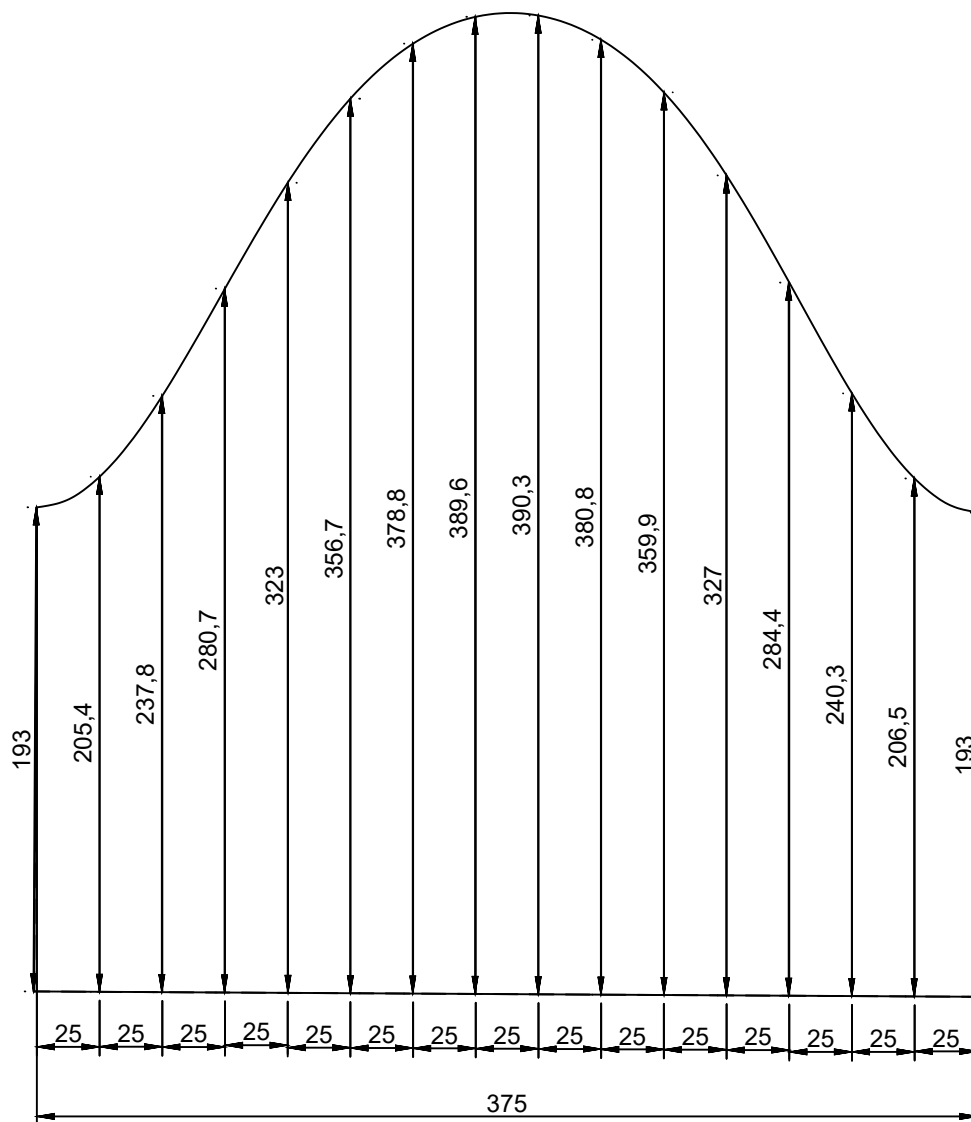
380*330*160*540

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 380X330X160X540		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	6:22	1:1	

330*310*120*480

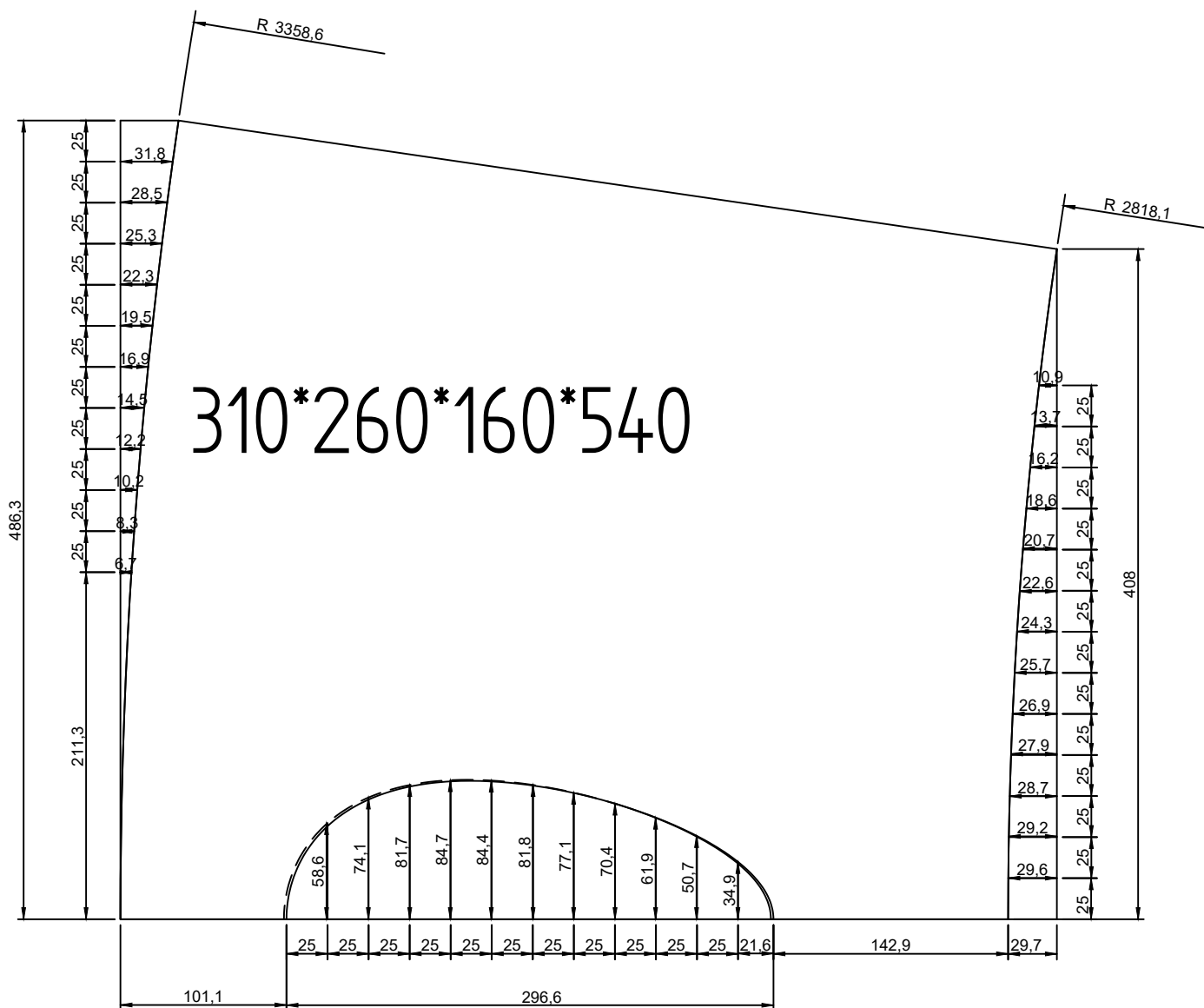


EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 330X310X120X480		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	7:22	1:1	

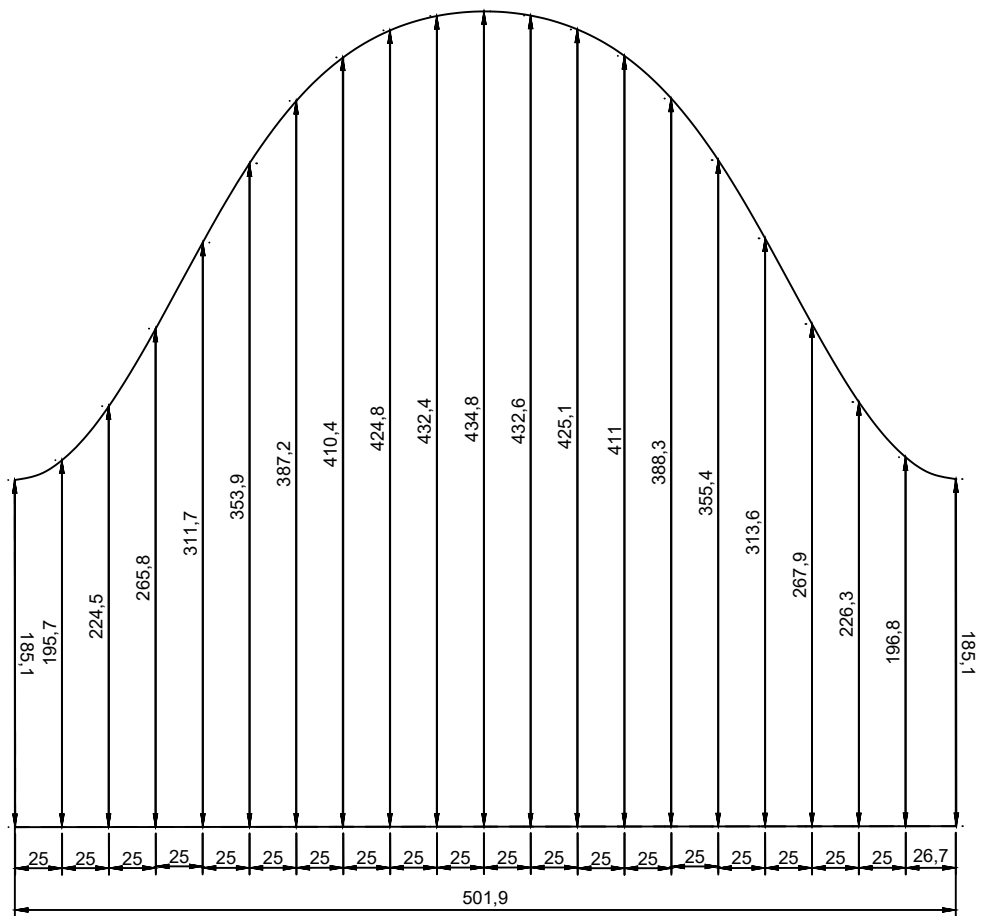


330*310*120*480

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 330X310X120X480		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	8:22	1:1	

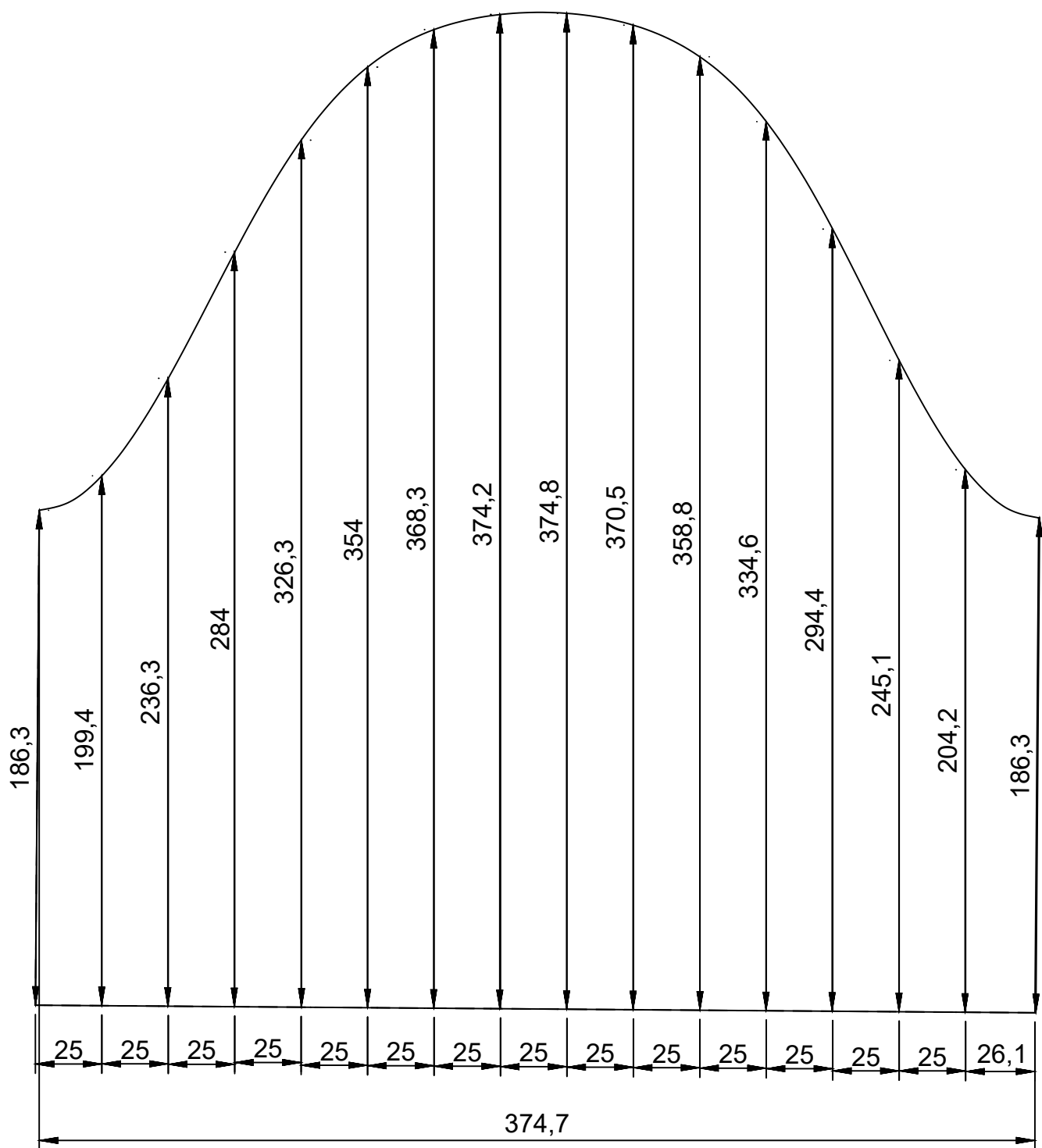


EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 310X260X160X540		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	9:22	1:1	



310*260*160*540

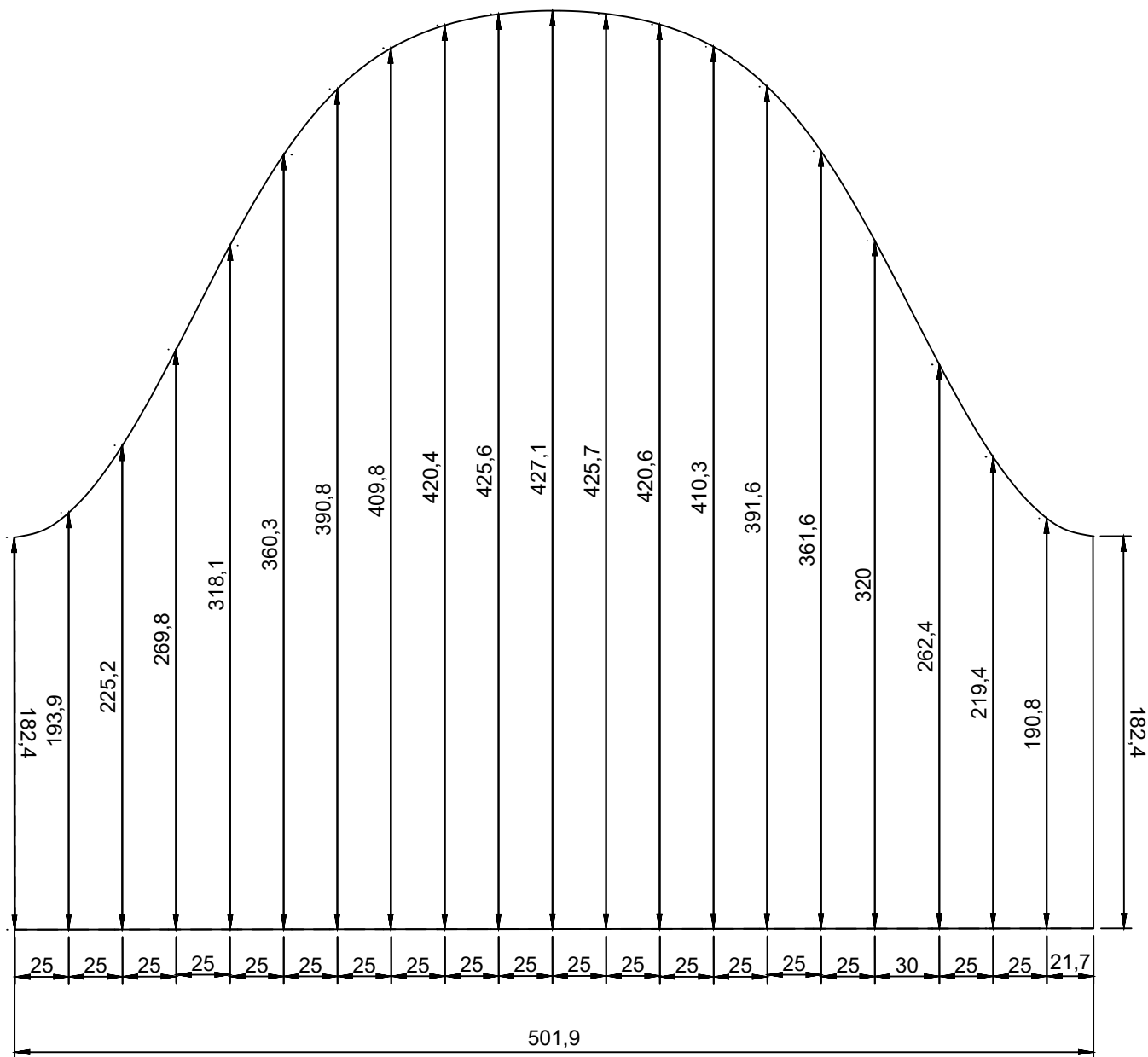
EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 310X260X160X540		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	10:22	1:1	



200*160*120*470

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC	
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO	
NOMBRE	UNION PANTALON 200X160X120X470	
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES
REVISADO		mm
FECHA		ESCALA
PLANO	12:22	1:1

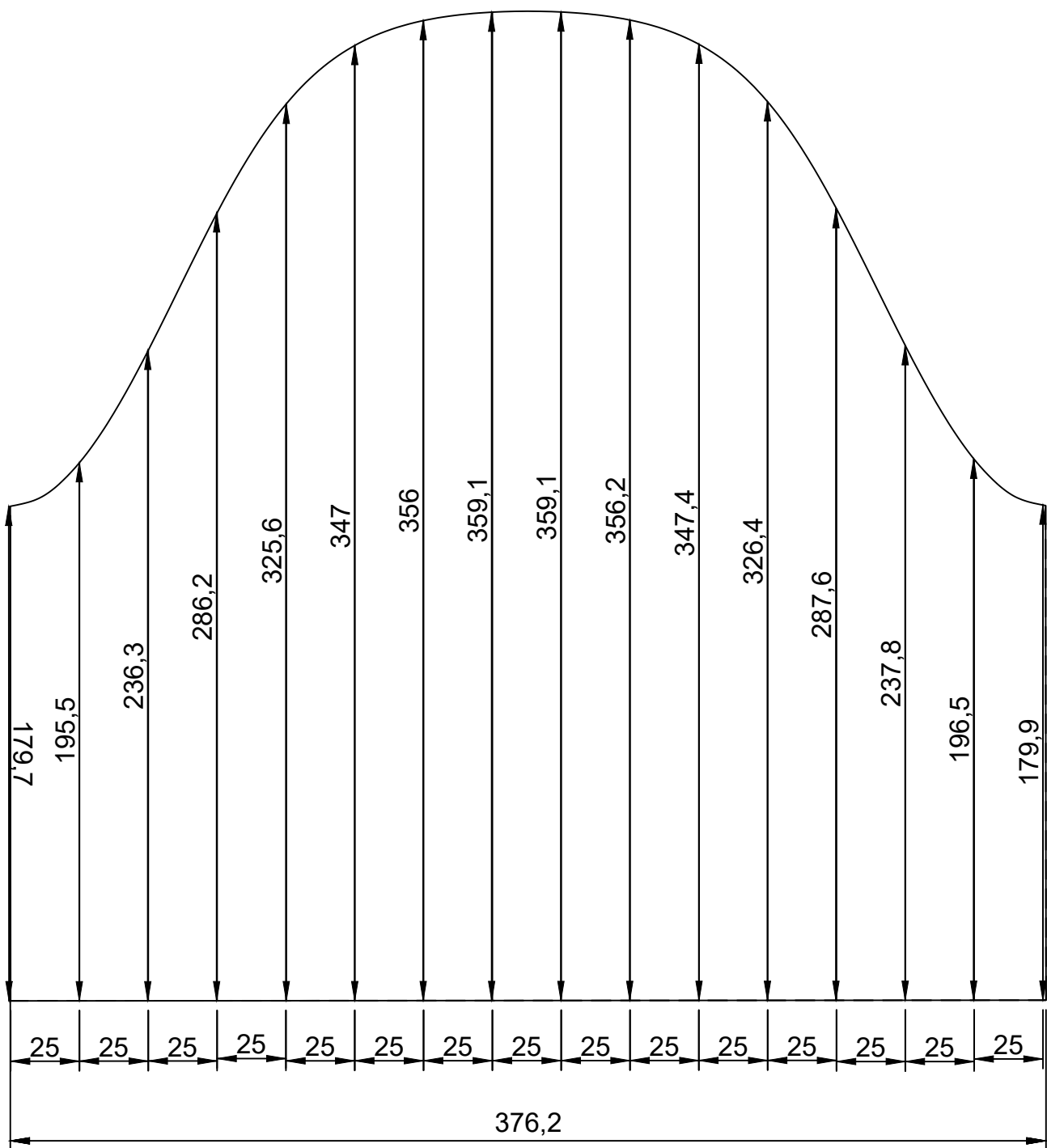




260*200*160*540

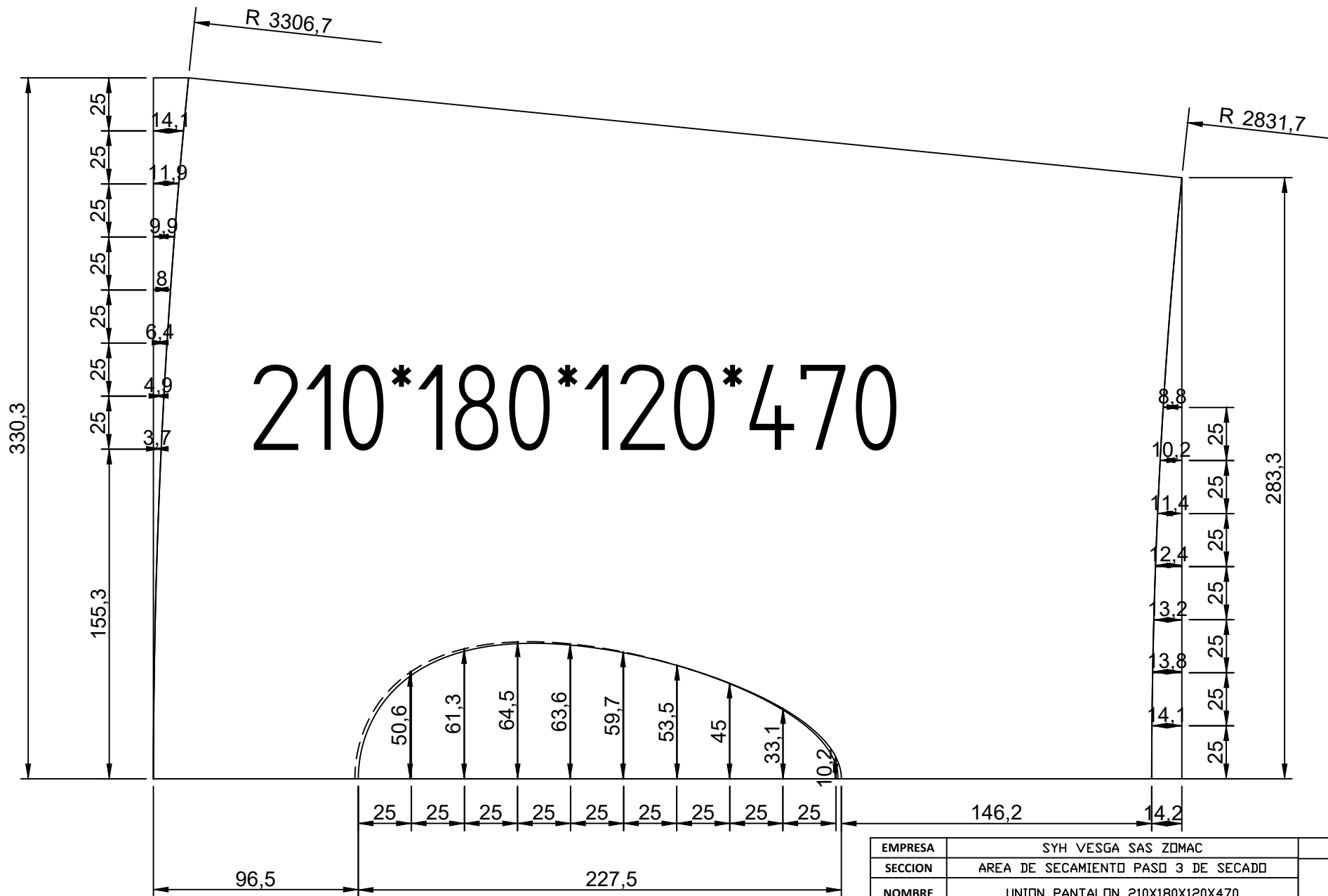
EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC	
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO	
NOMBRE	UNION PANTALON 260X200X160X540	
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES
REVISADO		mm
FECHA		ESCALA
PLANO	14:22	1:1





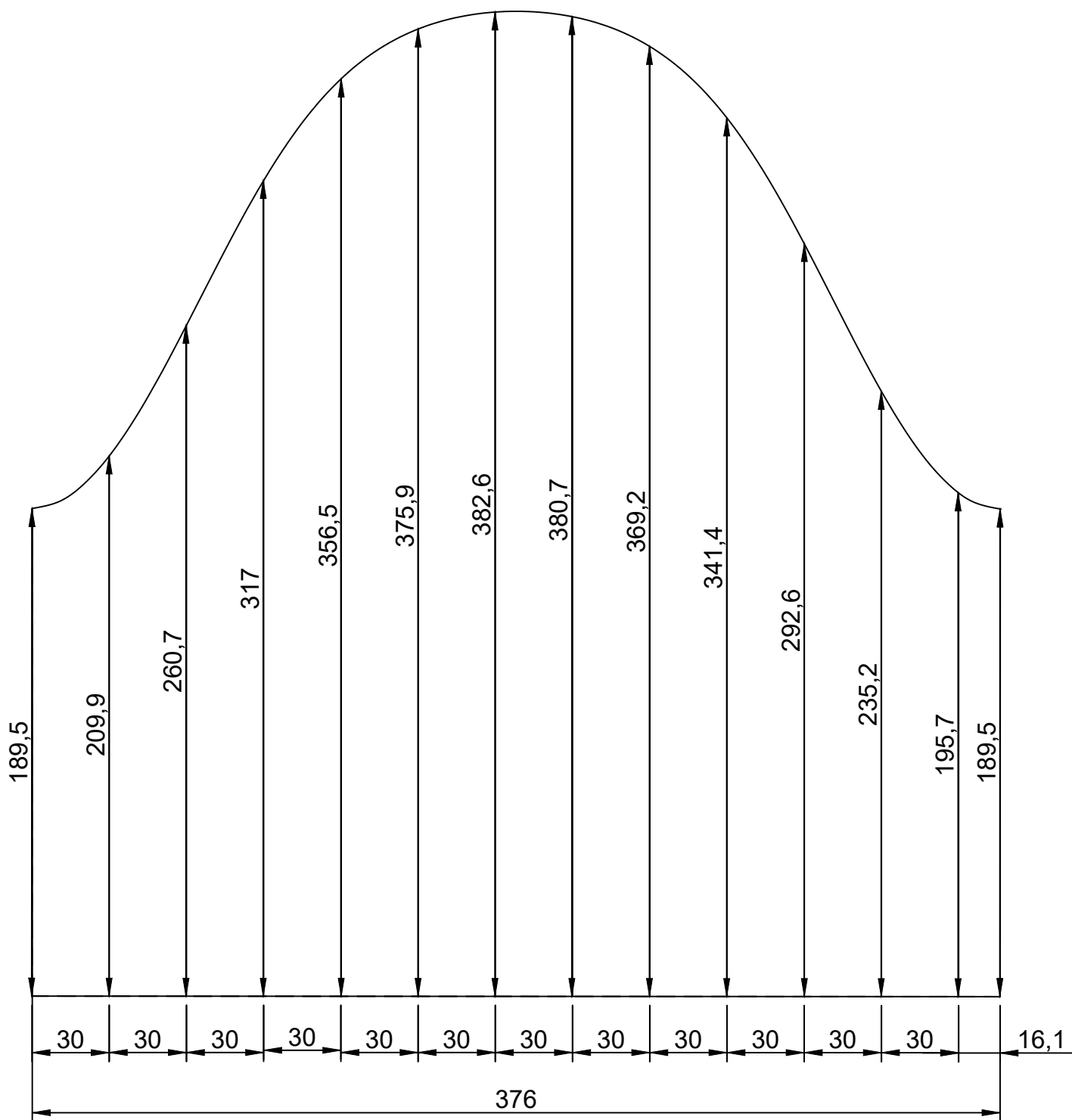
180*120*120*460

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 180X120X120X460		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	16:22	1:1	



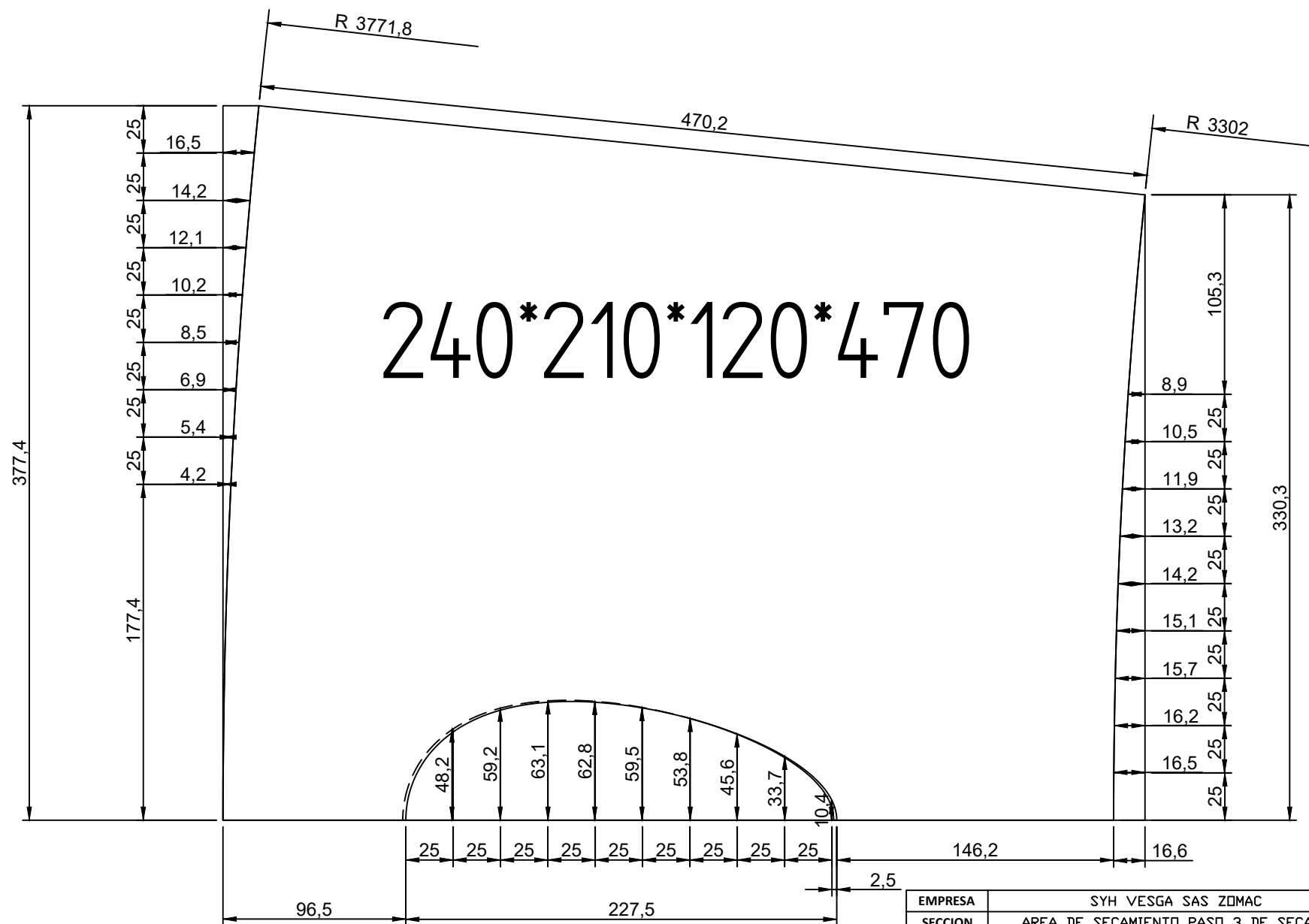
EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC	
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO	
NOMBRE	UNION PANTALON 210X180X120X470	
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES
REVISADO		mm
FECHA		ESCALA
PLANO	17:22	1:1





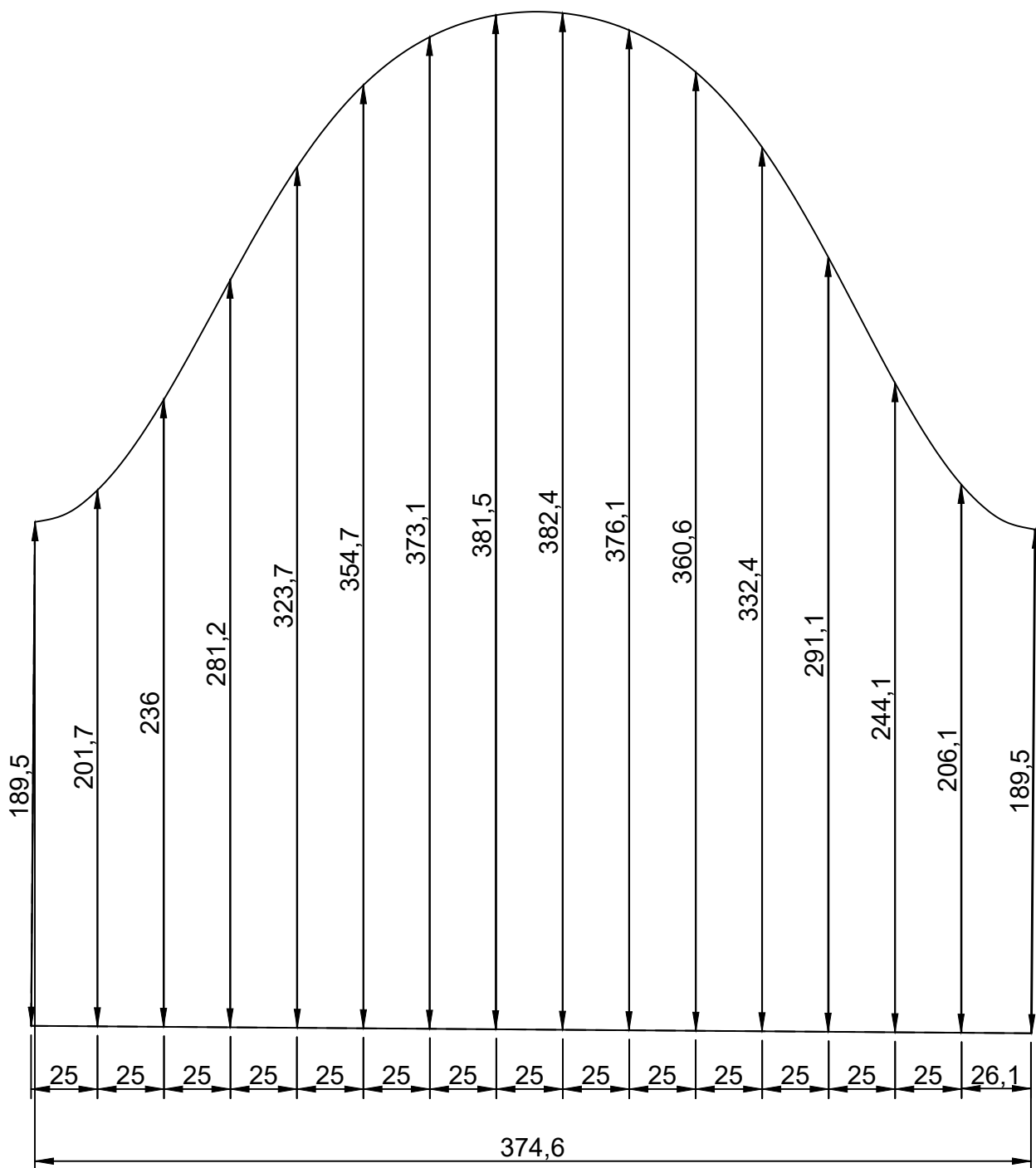
210*180*120*470

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 210X180X120X470		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	18:22	1:1	



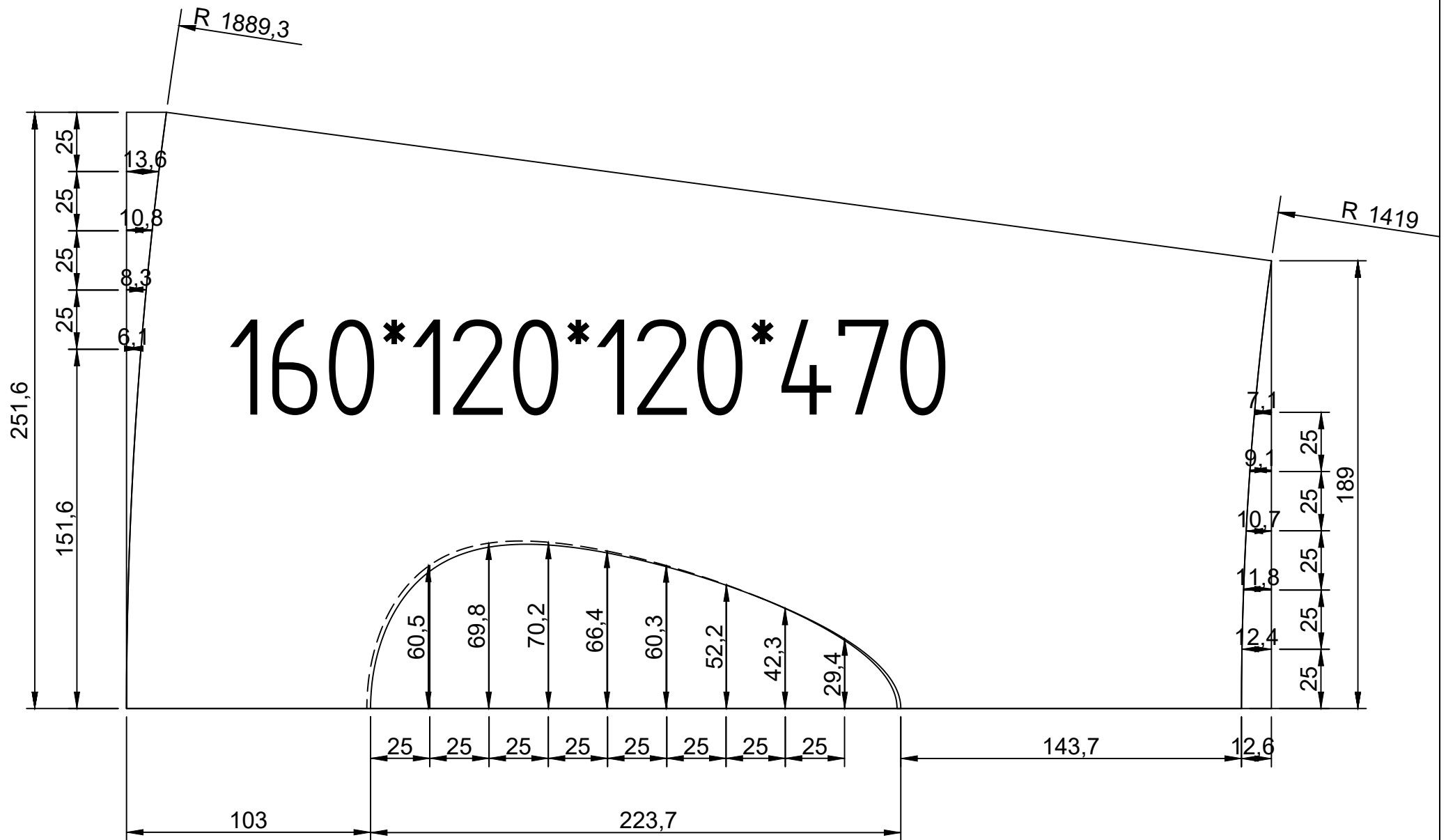
EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC	
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO	
NOMBRE	UNION PANTALON 240X210X120X470	
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES
REVISADO		mm
FECHA		ESCALA
PLANO	19:22	1:1



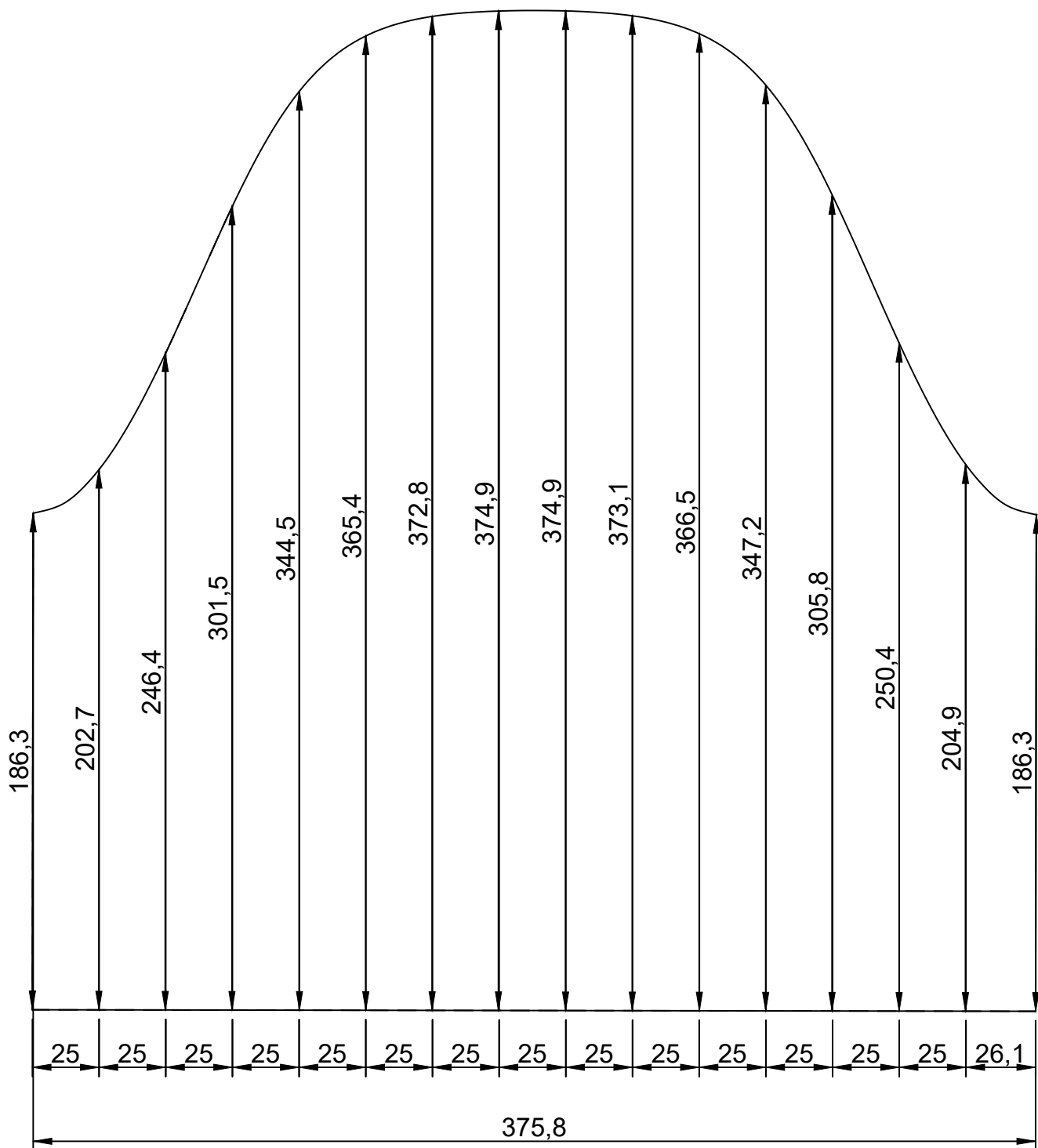


240*210*120*470

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 240X210X120X470		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	20:22	1:1	



EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 160X120X120X470		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	21:22	1:1	

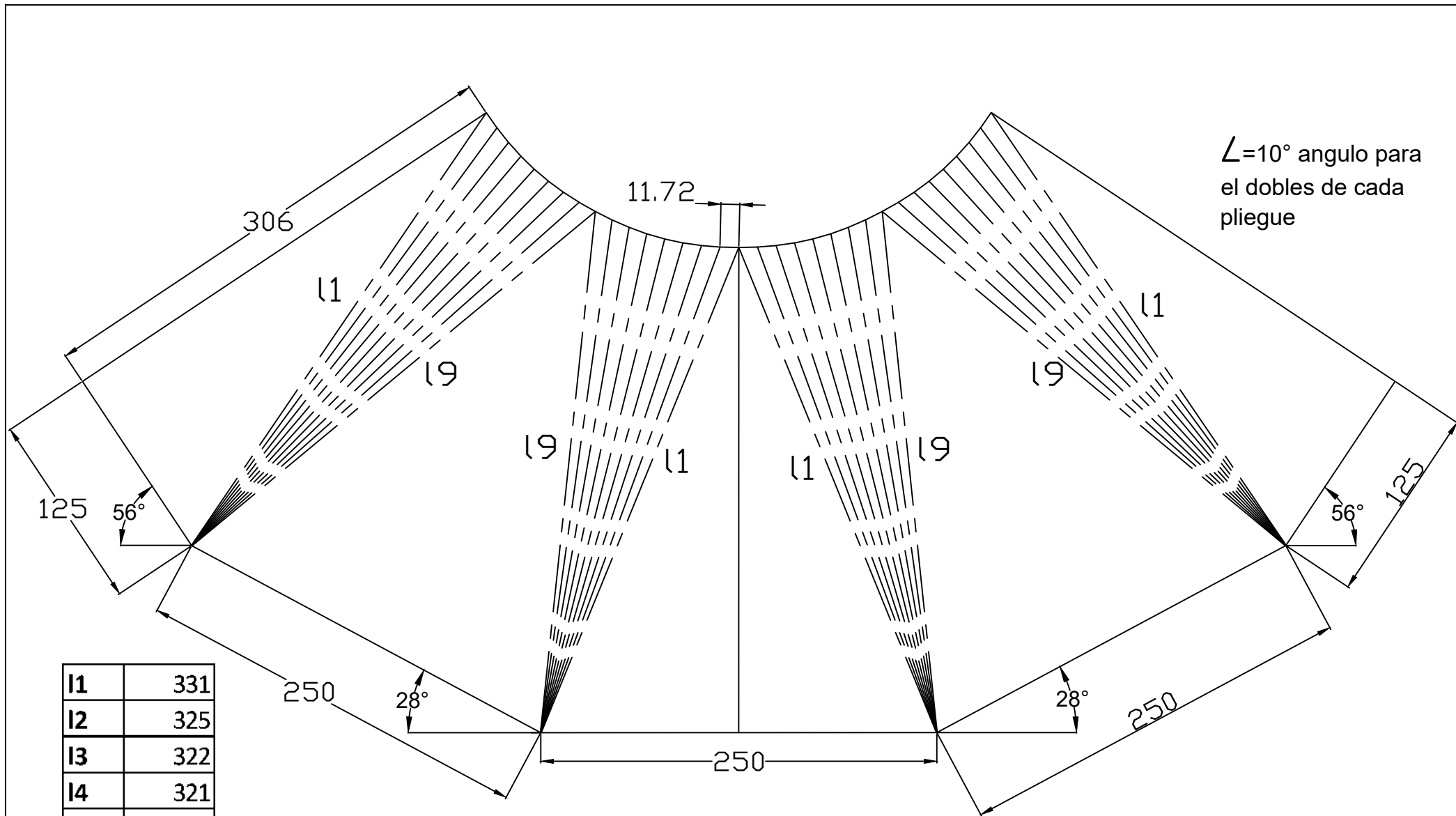


160*120*120*470

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZDMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	UNION PANTALON 160X120X120X470		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	22:22	1:1	

9.11ANEXO 11

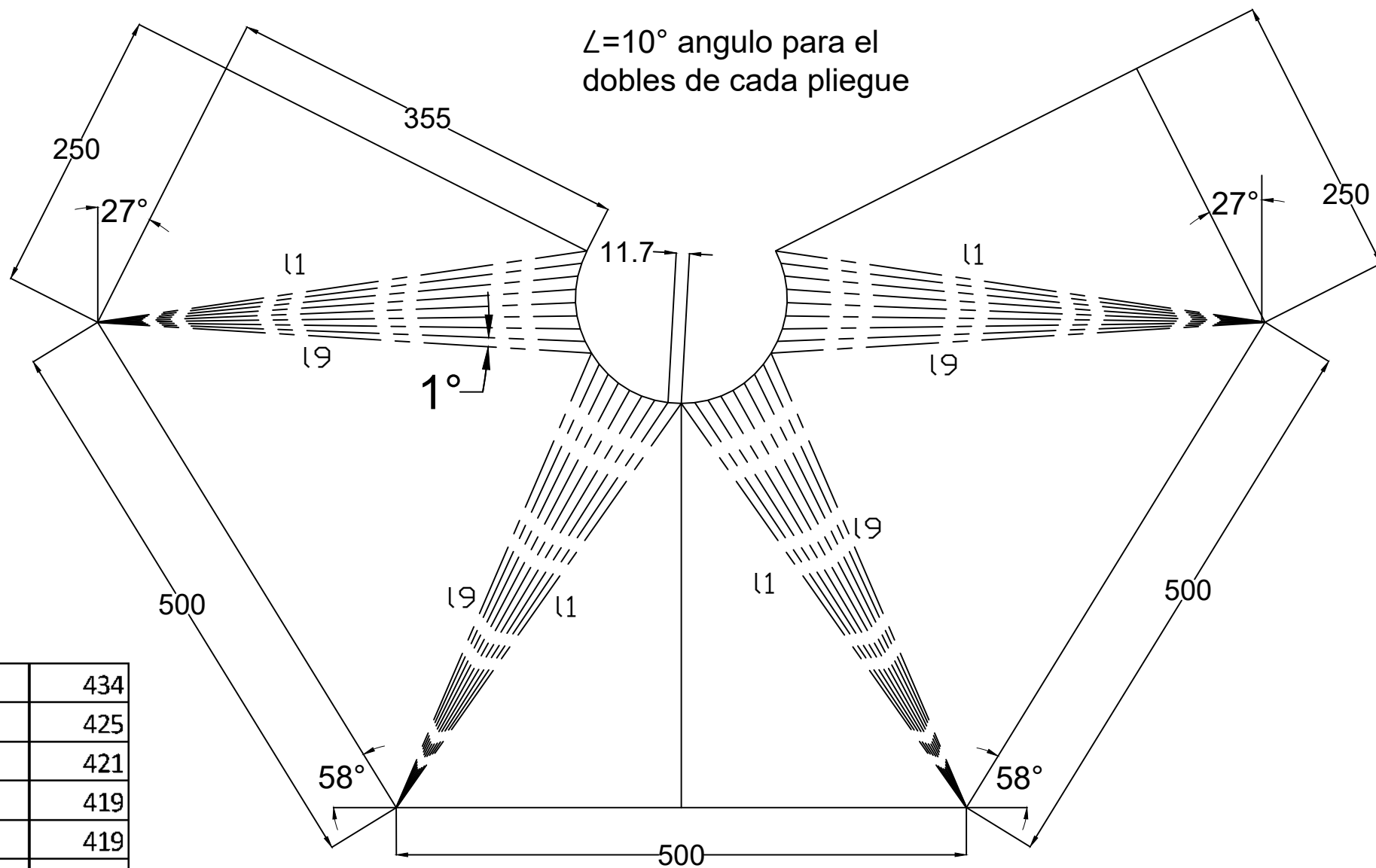
PLANOS DE DESARROLLO DE CAMPANAS DE CAPTACION



$\angle = 10^\circ$ angulo para
el dobles de cada
pliegue

l1	331
l2	325
l3	322
l4	321
l5	322
l6	321
l7	322
l8	325
l9	331

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CAMPANA D120-C250X250-H300		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	1:6	1:1	

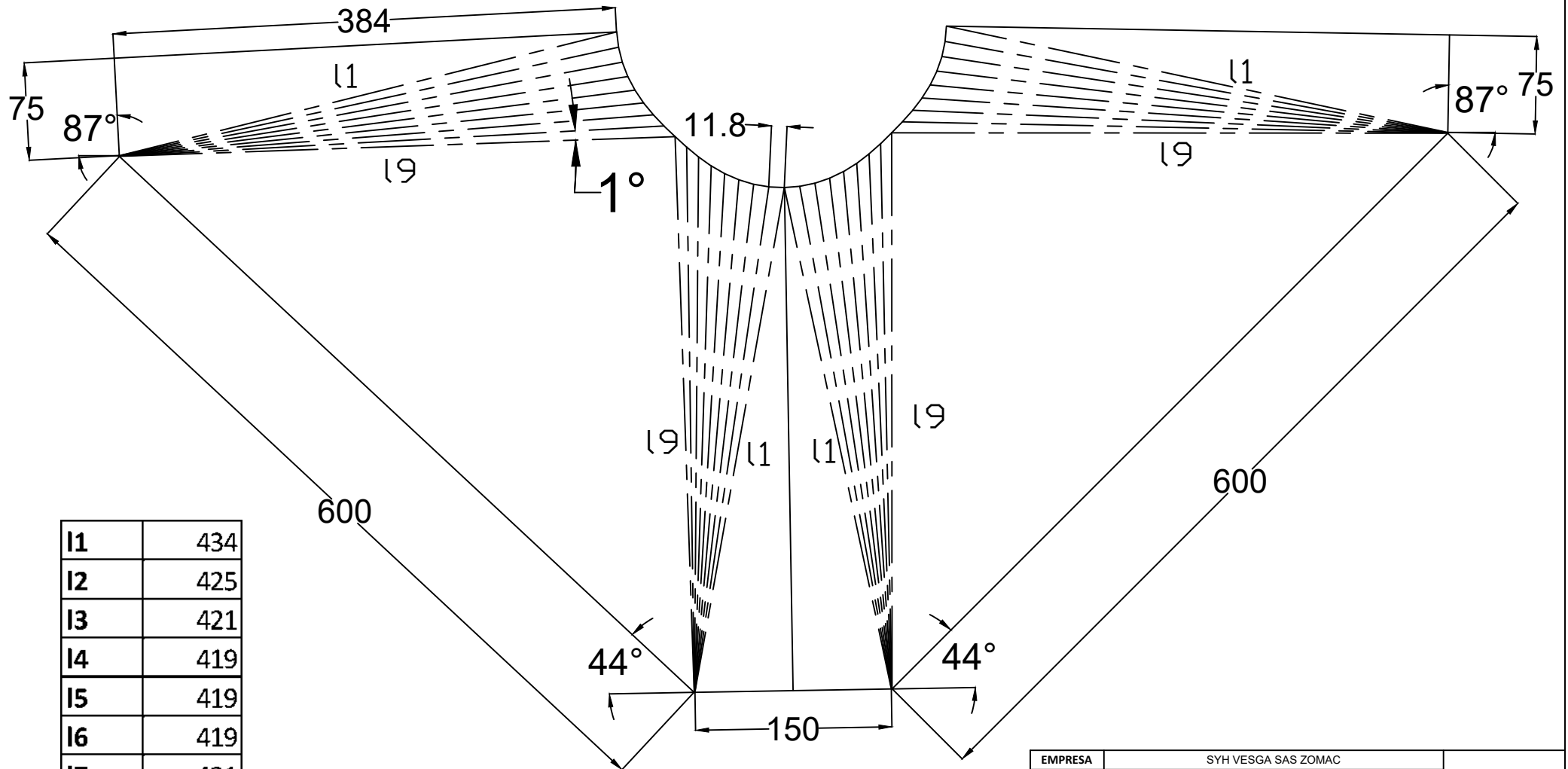


l1	434
l2	425
l3	421
l4	419
l5	419
l6	419
l7	421
l8	426
l9	434

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC	
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO	
NOMBRE	CAMPANA D120-C500X500-H300	
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES
REVISADO		mm
FECHA		ESCALA
PLANO	3:6	1:1

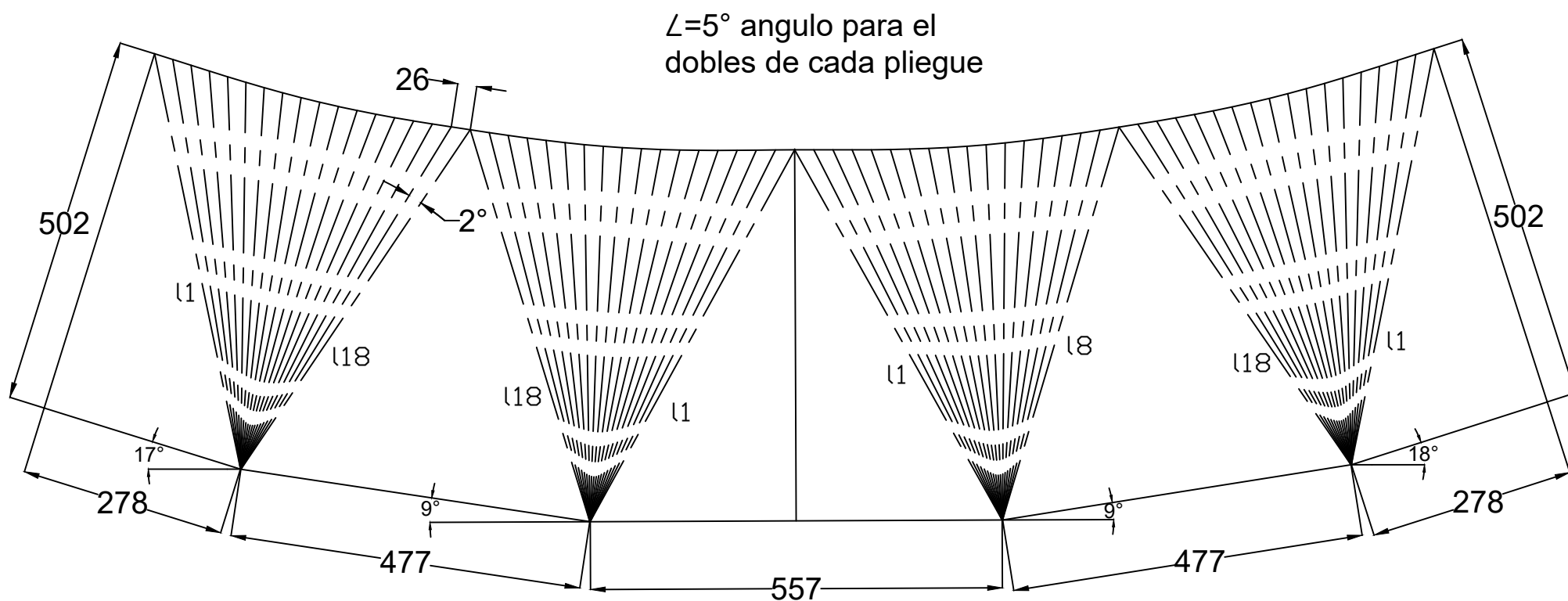


$\angle = 10^\circ$ angulo para el
dobles de cada pliegue



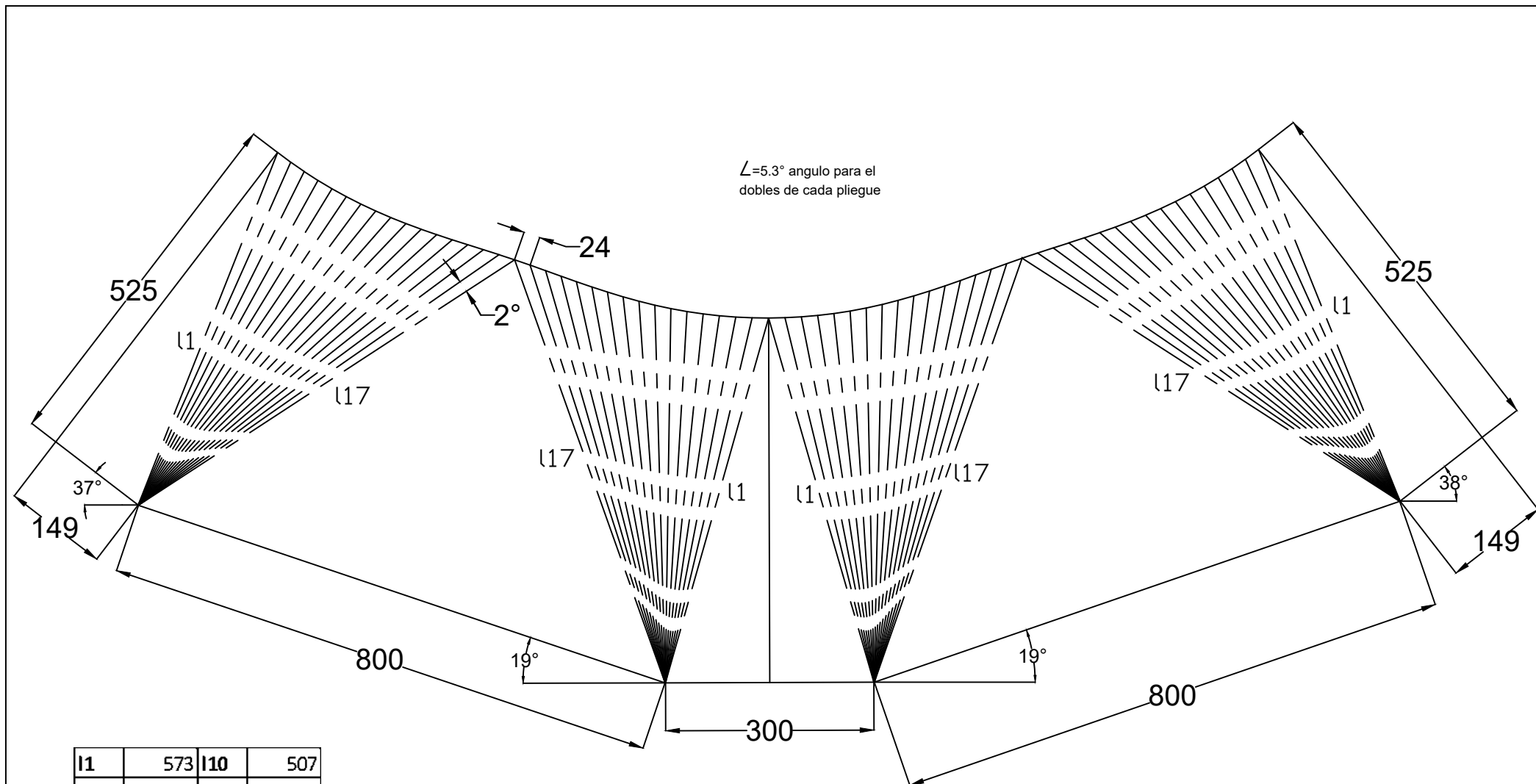
l1	434
l2	425
l3	421
l4	419
l5	419
l6	419
l7	421
l8	426
l9	434

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CAMPANA D120-C150X600-H300		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	4:6	1:1	



l1	573	l10	507
l2	560	l11	507
l3	548	l12	509
l4	538	l13	512
l5	529	l14	517
l6	522	l15	524
l7	515	l16	532
l8	511	l17	542
l9	508	l18	553

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CAMPAÑA D120-C557X477-H500		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	5:6	1:1	



l1	573	l10	507
l2	560	l11	507
l3	548	l12	509
l4	538	l13	512
l5	529	l14	517
l6	522	l15	524
l7	515	l16	532
l8	511	l17	542
l9	508	l18	553

EMPRESA	SYH VESGA SAS ZOMAC		
SECCION	AREA DE SECAMIENTO PASO 3 DE SECADO		
NOMBRE	CAMPANA D480-C300X800-H500		
DIBUJADO	JEFERSON URUEÑA	UNIDADES	
REVISADO		mm	
FECHA		ESCALA	
PLANO	6:6	1:1	