

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE SAN
FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
MECA-ELECTRÓNICAS**

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



MONOGRAFÍA

**“DISEÑO DE UN CICLÓN PARA LA EXTRACCIÓN DE POLVO DE
ULEXITA EN LA LÍNEA DE EMBOLSADO DE LA EMPRESA
SOCCOMAVK S.C.”**

POSTULANTE: Rodrigo Mamani Cruz

“Trabajo presentado para obtener el título de licenciado en Ingeniería Electromecánica, otorgado, por la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca”.

SUCRE-BOLIVIA

2024

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo, como uno de los requisitos previos para la obtención del título de licenciado en Ingeniería Electromecánica y habiendo aprobado el diplomado de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca en “Diseño mecánico CAM CAD CAE CNC”, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad para que se haga de este Trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca los derechos de publicación de este Trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Rodrigo Mamani Cruz

Sucre, agosto de 2024

DEDICATORIA

A mi padre y madre, por inculcarme valores y responsabilidades, por los sacrificios que tuvieron que hacer para que me pueda formar profesionalmente.

A mis hermanos, por siempre estar cuando los necesitaba y por apoyarme constantemente.

A mis amigos y compañeros, que siempre lograron motivarme para seguir estudiando y darme su amistad incondicional.

A familiares, que siempre están al pendiente en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, primeramente, por proporcionarme la capacidad física e intelectual para culminar con éxito una etapa más de mi vida, que requirió sacrificio, esfuerzo y entrega.

A mi padre y madre, por darme el apoyo, respaldo y comprensión en el tiempo que transcurrió mi formación profesional.

Mi mayor agradecimiento a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, y así también a los docentes, por la enseñanza y consejos dados para ser un mejor profesional y mejor persona en la sociedad.

A mis amigos y compañeros, por su apoyo y respaldo continuo.

RESUMEN

El presente trabajo de monografía se desarrolló en investigación para el diseño de un ciclón de extracción de polvo de ulexita (bórax) en la línea de embolsado de la planta de calcinado de la empresa SOCCOMAVK S.C. la cual al ser un espacio semicerrado se produce polvo en exceso que afecta a la salud de los trabajadores y también es la causante de accidentes por tapar la visión del ojo humano, debido a la alimentación que realiza los cargadores frontales a la tolva de almacenamiento.

Se realizó el diseño del ciclón por el cual el polvo será extraído, separando las partículas de polvo para la recuperación del producto. Esto se logró mediante la recaudación de información en la empresa SOCCOMAVK S.C. realizando a su vez la simulación del comportamiento que existe dentro del ciclón colector, esto con el fin de diseñar un ciclón óptimo para el trabajo en la línea de embolsado.

El ciclón está diseñado mediante chapa metálica con el programa SolidWorks, ya que, dentro de la planta, existe el área de mantenimiento la cual ya cuentan con experiencia en fabricación de máquinas mediante planchas de aceros y serán los encargados para la fabricación.

El ciclón tiene la finalidad de ser implementado al sistema de extracción de polvo que ya se tiene implementado en la línea de embolsado. Dicho diseño está realizado tomando en cuenta la optimización de diseño para la manufactura y que sea económicamente factible para su implementación, aplicando métodos teóricos y empíricos, tales como la revisión bibliográfica, análisis matemático y la observación directa.

ÍNDICE TEMÁTICO

CESIÓN DE DERECHOS	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE TEMÁTICO	v
ÍNDICE DE TABLAS O CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS.....	ix
CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. PROBLEMÁTICA	3
1.2.1. Formulación del problema	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3.1. Justificación Económica	3
1.3.2. Justificación Tecnológica.....	4
1.3.3. Justificación Social	4
1.4. METODOLOGÍA	4
1.4.1. Tipos de investigación	4
1.4.1.1. Investigación metódica.....	4
1.4.1.2. Investigación aplicada.....	5
1.4.1.3. Investigación descriptiva	5
1.4.2. Métodos.....	5
1.4.2.1. Métodos teóricos.....	5
1.4.2.2. Métodos empíricos	6
1.4.3. Técnicas e Instrumentos.....	6
1.5. OBJETIVOS.....	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos	6
CAPITULO II	8
2. DESARROLLO	8
2.1. MARCO CONTEXTUAL.....	8
2.1.1. Antecedentes de la empresa	8
2.1.2. Proceso productivo y extracción de la ulexita	9

2.1.3.	Macro localización	9
2.1.4.	Micro localización	9
2.2.	MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	10
2.2.1.	Antecedentes de la ulexita.....	10
2.2.2.	Fluidización	10
2.2.3.	Sistemas de captación de polvo	11
2.2.3.1.	Filtros de mangas.....	11
2.2.3.2.	Ciclón industrial.....	12
2.2.3.3.	Exaustor centrifugo	13
2.2.4.	Ciclón separador de partículas	14
2.2.4.1.	Funcionamiento del ciclón separador	15
2.2.4.2.	Características técnicas	16
2.2.5.	Familias de ciclones	16
2.2.5.1.	Ciclones de alta eficiencia	17
2.2.5.2.	Ciclones de alta capacidad	17
2.2.5.3.	Ciclones convencionales.....	18
2.2.6.	Tipos de ciclones.....	19
2.2.7.	Partes de un ciclón separador	21
2.3.	INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS	22
2.4.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	23
2.5.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	23
2.5.1.	Diseño del ciclón	23
2.5.2.	Dimensionamiento del ciclón	24
2.5.3.	Eficiencia de colección	25
2.5.4.	Material de fabricación del ciclón separador	26
2.5.5.	Simulación por software	26
2.5.6.	Estructura de soporte	27
2.5.7.	Soldadura	28
2.5.8.	Recubrimiento de protección	31
2.6.	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO	32
2.6.1.	Selección del tipo de ciclón.....	33
2.6.2.	Diámetro del ciclón	33
2.6.3.	Dimensiones del ciclón de partículas.....	34
2.6.4.	Eficiencia del ciclón	36

2.6.5. Espesor de las planchas de acero	40
2.6.6. Selección del material.....	41
2.6.7. Soldadura aplicada	42
2.6.8. Análisis y simulación del ciclón utilizando SolidWorks	42
CAPITULO III	49
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
3.1. CONCLUSIONES	49
3.2. RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS O CUADROS

Tabla 2-1: Características de los ciclones de alta eficiencia	17
Tabla 2-2: Características de los ciclones de alta capacidad.....	18
Tabla 2-3: Características de los ciclones convencionales	18
Tabla 2-4: Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de ciclones	21
Tabla 2-5: Datos obtenidos para el diseño	22
Tabla 2-6: Datos proporcionados por la empresa	32
Tabla 2-7: Parámetros de diseño para los ciclones de entrada tangencial	32
Tabla 2-8: Distribución de tamaño de las partículas	32
Tabla 2-9: Eficiencia de remoción de familias de ciclones	33
Tabla 2-10: Medidas del ciclón	35
Tabla 2-11: Intervalo de la eficiencia	39

ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICOS

Figura 2-1: Filtro de mangas	12
Figura 2-2: Ciclón separador	13
Figura 2-3: Exaustor Centrífugo	14
Figura 2-4: Separador de material particulado tipo ciclón.....	15
Figura 2-5: Tipos de separadores ciclónicos	20
Figura 2-6: Partes del ciclón separador.....	22
Figura 2-7: Eficiencia de colección del ciclón.	25
Figura 2-8: Dimensiones del ciclón	35
Figura 2-9: Comportamiento de la velocidad del aire	43
Figura 2-10: Resultados de la simulación.....	44
Figura 2-11: Análisis estático tensión nodal	45
Figura 2-12: Desplazamiento estático	46
Figura 2-13: Factor de seguridad	47
Figura 2-14: factor de carga pandeo	48

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de monografía es para desarrollar la investigación para el diseño de un ciclón de extracción de polvo de ulexita en la línea de embolsado de la empresa soccomavk s.c., dicha empresa dedicada al procesamiento y comercialización de mineral como es la ulexita (bórax), se enfrenta a la necesidad de implementar soluciones efectivas para el control del polvo generado en su línea de embolsado de ulexita. En respuesta a esta necesidad, se ha propuesto el diseño de un ciclón para la extracción de polvo, que tiene la finalidad de ser implementado al sistema de extracción de polvo que ya se tiene implementado en la línea de embolsado, con el objetivo de minimizar la dispersión de partículas en el ambiente de trabajo, mejorar las condiciones de seguridad y cumplir con las normativas ambientales vigentes.

Un ciclón extractor de polvo es un dispositivo mecánico utilizado para separar y remover partículas sólidas o gotas de un flujo de aire o gas mediante la aplicación de la fuerza centrífuga. Este equipo es ampliamente utilizado en entornos industriales donde es necesario controlar la dispersión de polvo en el aire, como en plantas de procesamiento de minerales, fábricas de cemento, y otras industrias donde se generan grandes volúmenes de partículas en suspensión.

Este método de separación es altamente eficiente para partículas de mayor tamaño y es valorado por su simplicidad, bajo costo de operación, y mínimo mantenimiento, lo que lo convierte en una solución eficaz para mejorar la calidad del aire en procesos industriales y proteger tanto el ambiente de trabajo como los equipos que puedan verse afectados por la acumulación de polvo. (Sánchez, 2019)

1.1. ANTECEDENTES

El manejo y control de polvo en procesos industriales es un aspecto crítico para la seguridad y eficiencia operativa, especialmente en sectores donde la manipulación de materiales en polvo es constante. En la industria minera, y particularmente en la manipulación de minerales, el polvo generado puede tener efectos perjudiciales tanto para la salud de los trabajadores como para el entorno operativo. Los sistemas de control de polvo han evolucionado a lo largo de los años, desde métodos rudimentarios de supresión de polvo, como la aplicación de agua, hasta tecnologías avanzadas de separación y filtración.

La empresa en la cual el diseño del ciclón está enfocado, la calcinación de ulexita se ha centrado en comprender y abordar los desafíos asociados con este proceso crítico en la producción de borato, un componente esencial en diversas aplicaciones industriales y tecnológicas. La calcinación implica someter el mineral de ulexita, una valiosa fuente de borato, a temperaturas elevadas en hornos especializados con el propósito de descomponer sus propiedades y obtener productos derivados como el bórax y el ácido bórico.

Una forma de reducir la contaminación y el desperdicio de materias primas en este tipo de plantas es implementar sistemas de recuperación de sólidos que utilicen equipos de extracción para desviar los sólidos del ambiente hacia dispositivos de separación (como ciclones y filtros de mangas). El objetivo es reducir el exceso de partículas en el ambiente de trabajo y recuperar las materias primas perdidas en los procesos, elevando así el nivel de producción en este tipo de industria. (García, 2020)

La contaminación ambiental provocada por el proceso de producción ha sido objeto de numerosos estudios y se han desarrollado nuevas tecnologías de producción. Dado que la minería es un proceso cuyo objetivo principal es la separación de minerales, casi todas las actividades realizadas en los procesos de minería y canteras inevitablemente producen polvo en mayor o menor medida. Por lo tanto, es muy importante estudiar el polvo para poder controlarlo y reducirlo. (SISTEMAS CONTROL DE POLVO, 2016)

1.2. PROBLEMÁTICA

La exposición al polvo proveniente del embolsado de ulexita calcinada es un riesgo para la salud de los trabajadores de la empresa, involucrados en el proceso de embolsado. Las pequeñas partículas de polvo pueden inhalarse fácilmente y acumularse en los pulmones, lo que puede provocar dificultades respiratorias, irritación en los ojos e incluso enfermedades pulmonares crónicas.

1.2.1. Formulación del problema

¿Cómo minimizar el daño a la salud de los trabajadores y reducir los accidentes causados por la generación del polvo de ulexita de la línea de embolsado de la planta de calcinación?

1.3. JUSTIFICACIÓN

En la línea de embolsado se genera mucho polvo debido al procesamiento que conlleva transportar la ulexita y más cuando esta tiene que ser almacenado en una tolva por medio de maquinaria. Este polvo pone en peligro a la salud de los trabajadores y también expone a varios riesgos de accidentes por no tener una buena visión del lugar la cual llevaría a un daño a su integridad física.

1.3.1. Justificación Económica

La implementación de un ciclón de extracción de polvo reducirá significativamente los costos asociados a problemas de salud ocupacional, tales como gastos médicos, tratamientos a largo plazo y ausencias por enfermedad, que resultan de la exposición continua al polvo. Estos problemas de salud no solo afectan a los trabajadores, sino que también incrementan los costos para la empresa en términos de seguro y compensación laboral.

1.3.2. Justificación Tecnológica

La adopción de tecnologías avanzadas puede posicionar a la empresa como líder en innovación dentro de su sector. Al invertir en soluciones tecnológicas, la empresa muestra su compromiso con la mejora continua y la sostenibilidad, lo cual puede ser atractivo para socios comerciales, clientes y otros.

1.3.3. Justificación Social

La protección de la salud de los trabajadores y la reducción de la contaminación ambiental tienen importantes implicaciones sociales. Al implementar medidas efectivas para el control del polvo, la empresa demuestra su compromiso con el bienestar de sus empleados, lo cual puede llevar a una mejora en la moral y la satisfacción laboral. Trabajadores que se sienten cuidados y valorados son más propensos a ser productivos y leales a la empresa, lo que contribuye a un ambiente laboral positivo y a una menor rotación de personal.

1.4. METODOLOGÍA

El tipo de metodología utilizado en la presente monografía es la investigación metódica, investigación aplicada, investigación y exposición descriptiva.

1.4.1. Tipos de investigación

1.4.1.1. Investigación metódica

Esta se enfoca en desarrollar y perfeccionar métodos de investigación, asegurando que se sigan procedimientos sistemáticos y rigurosos. En esta investigación, el objetivo principal es mejorar las técnicas y métodos que se utilizan para llevar a cabo investigaciones.

1.4.1.2. Investigación aplicada

Busca resolver problemas prácticos y específicos mediante la aplicación de teorías y principios científicos. En lugar de enfocarse en la teoría, la investigación aplicada se centra en la aplicación práctica de los conocimientos para enfrentar problemas concretos.

1.4.1.3. Investigación descriptiva

La investigación descriptiva tiene como objetivo principal describir las características y condiciones actuales del proceso de embolsado de ulexita y los problemas relacionados con la generación de polvo.

1.4.2. Métodos

1.4.2.1. Métodos teóricos

Los métodos teóricos utilizados en este estudio incluyen la revisión bibliográfica y el análisis de modelos matemáticos. Estos métodos permiten comprender los principios fundamentales del diseño de ciclones y evaluar las teorías existentes sobre la dinámica de partículas y flujo de aire.

- **Método bibliográfico:** implica una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relevante para el diseño del ciclón. (se revisan estudios, artículos y libros sobre el diseño y funcionamiento de ciclones).
- **Método matemático:** Se aplican fórmulas y ecuaciones para calcular las dimensiones óptimas del ciclón y su capacidad de extracción de polvo.

1.4.2.2. Métodos empíricos

Los métodos empíricos incluyen la observación directa y la experimentación en el sitio. Estos métodos permiten recolectar datos reales sobre la operación de la línea de embolsado y el comportamiento del polvo de ulexita.

- **Observación directa:** Observar el lugar donde se genera el polvo, también ver que implementaciones realizaron a otros equipos dentro de la planta de calcinación para la mitigación del polvo, este método de recolección de datos consiste en el registro sistemático, válido, confiable de comportamientos y situaciones observables.

1.4.3. Técnicas e Instrumentos

- **Software CAD:** para el diseño de prototipo del ciclón de extracción de polvo, lo que permitirá una modelación completa para posteriores modificaciones si se lo requiere.
- **Evaluación de Costos:** Se emplearán herramientas de análisis financiero para determinar la viabilidad económica del proyecto.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Desarrollar el diseño de un ciclón para la extracción de polvo de ulexita en la línea de embolsado de la empresa SOCCOMAVK S.C.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Analizar los diferentes tipos de ciclones que existen para diferentes aplicaciones para optar por el más adecuado para nuestro diseño.
- Determinar las características y material que constara el diseño del ciclón.

- Desarrollar un modelo tridimensional del ciclón de separación de partículas para la extracción de polvo.
- Analizar la viabilidad técnica y económica para la implementación de este equipo.

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONTEXTUAL

SOCCOMAVK S.C. es una empresa ubicada en la comunidad de vinto "k", del departamento de potosí, dedicada a la extracción y procesamiento de ulexita, un mineral utilizado en la fabricación de diversos productos, como fertilizantes, productos químicos y vidrio. Durante el proceso de extracción y manipulación de la ulexita, se generan cantidades significativas de polvo, lo que puede representar un riesgo para la salud de los trabajadores y para el medio ambiente si no se controla adecuadamente.

La gestión eficiente del polvo de ulexita es fundamental para garantizar un entorno de trabajo seguro y para cumplir con las regulaciones ambientales. En este contexto, el diseño de un ciclón para la extracción de polvo en la línea de embolsado representa como una medida preventiva y proactiva para mitigar los riesgos asociados con la exposición al polvo de ulexita.

2.1.1. Antecedentes de la empresa

Los pobladores de la comunidad de Vinto "K", toman la decisión de iniciar trabajos de exploración en un área en el delta de Rio Grande, en el lugar denominado Vinto Pampa actualmente Boraterapampa y solicitan en arriendo cuatro cuadrículas a CIRESU, el mismo año donde se logra el 03 de octubre de 2009 y se funda la empresa el 07 de diciembre de 2009, durante el transcurrir del tiempo se logra firmar el contrato de las cuatro cuadrículas el 11 de junio de 2010 con la institución CIRESU, de donde iniciaron la etapa de extracción y exploración del mineral no metálico, llegando a encontrar un pequeño depósito de ulexita, entre los años 2009, 2010 y 2011 inicia la exploración de este depósito. Las reservas de este depósito son muy pequeñas, transcurrido el tiempo la empresa a la cabeza de su directorio

de la gestión 2013-2014 se solicita a CIRESU más áreas para su exploración. El año 2013 CIRESU les asigna un área que comprende de 126 cuadrículas con lo que se trabaja actualmente después de un proceso de adecuación el cual sigue en proceso esto debido a la existencia de nuevas leyes, normas, circulares, instructivos que emana la COMIBOL. (Antecedentes de la empresa, 2021)

2.1.2. Proceso productivo y extracción de la ulexita

Todo comienzo tiene un antecedente, pues el proceso de extracción de ulexita de la mina fue desarrollando mejoras año tras año esto debido a un trabajo más planificado en base a la estimación de reservas y los cateos realizados dentro el área y son expuestas dentro la planificación de producción anual de cada año, teniendo como punto de partida para el proceso productivo la mina, posteriormente las playas donde se procede al secado y control de calidad de laboratorio, después se da inicio al molido, embolsado y posteriormente está el proceso de calcinado donde resumen la empresa tiene tres productos actuales para comercializar la ulexita a granel, con leyes de B203 desde 32% 34%, ulexita molida en big bag de 1 Tn, ulexita calcinada en big bag de 1tn y sacos de 50 kg. (Poceso productivo y extractivo de la ulexita, 2021)

2.1.3. Macro localización

- **Empresa:** SOCCOMAVK S.C.
- **País y departamento:** Potosí – Bolivia
- **Municipio:** Colcha K
- **Latitud:** -20.68159181824538
- **Longitud:** 67.024189225332749

2.1.4. Micro localización

- **Empresa:** SOCCOMAVK S.C.
- **Dirección:** Av. Mejillones entre 1ro. De mayo, S/N
- **Localidad:** Vinto K

2.2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.2.1. Antecedentes de la ulexita

La ulexita, $\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})$, es un mineral que pertenece al sistema triclinico pinacoidal y está clasificado dentro del grupo de los boratos. El origen del nombre viene del químico alemán George Ulex, quien lo determino por primera vez. Existen más de 230 minerales de boro y solamente los que tienen valor económico son el pentahidrato y decahidrato bórax (tincal), colemanita y ulexita. Los yacimientos de boratos de importancia comercial se encuentran en un reducido número de regiones geográficas: Turquía, Estados Unidos, Rusia, China, sud del Perú, Norte de Chile, noroeste de Argentina y sudoeste de Bolivia. Estos 4 últimos tienen las terceras reservas mundiales de boratos.

La ulexita, como colemanita e borax son la principal fuente de boro. Los boratos y compuestos de boro son usados en la industria de esmaltes y cerámicas, del vidrio, cristales, fibras de vidrio, lámparas y focos, detergentes y blanqueadores, abrasivos, cosméticos, en la preservación de la madera, aleaciones, catálisis, cemento, combustibles, farmacias, fungicidas, entre otros. Al margen de los macronutrientes primarios (NPK), el boro se constituye como micronutriente esencial para las plantas razón porque el uso del boro como fertilizante tiene gran importancia. (GMGA, 2017)

2.2.2. Fluidización

La fluidización ocurre cuando pequeñas partículas sólidas son suspendidas por una corriente de un fluido que se dirige de abajo hacia arriba venciendo el peso de las mismas. Cuando la velocidad del fluido debe ser lo suficientemente alta como para suspender las partículas, pero a la vez no tan elevada como para expulsar las partículas fuera del recipiente. Las partículas sólidas rotan en el lecho rápidamente, creándose un excelente mezclado. El material que se fluidiza es casi siempre un sólido y el medio que fluidiza puede ser tanto líquido como gas. Las características y comportamiento de los lechos fluidizados dependen fuertemente de las propiedades del sólido y del fluido. (Aguilar, 2019)

2.2.3. Sistemas de captación de polvo

Los sistemas de captación de polvo son dispositivos o instalaciones diseñadas para recoger y filtrar partículas de polvo presentes en el aire, con el objetivo de mejorar la calidad del aire y proteger la salud humana, así como también para mantener limpias las áreas de trabajo y prevenir la contaminación ambiental. Estos sistemas son comúnmente utilizados en una variedad de industrias, incluyendo la industria manufacturera, la construcción, la minería, la agricultura y muchas otras donde se generan partículas de polvo como resultado de procesos de producción, manipulación de materiales, o actividades similares.

Entre los tipos comunes de sistemas de captación de polvo se encuentran:

2.2.3.1. Filtros de mangas

El filtro de mangas de limpieza neumática es un equipo con capacidad para extraer de los flujos de aire o gaseosos, partículas de polvos, etc, que combinados con un sistema de limpieza continua logra una altísima eficiencia en la recolección de polvo que se mantiene sin utilizar partes móviles o mecanismos de golpe. Su aplicación versátil y su simplicidad de operación son una característica inherente a su diseño. (CLAFIL S.A)

El filtro de mangas es usado para separar el material particulado de una corriente de aire, en el cual el medio filtrante es una tela confeccionada bajo la forma de talegas o mangas cilíndricas que a su vez están fijadas a la parte superior del aparato y tensadas con el auxilio de unas jaulas metálicas. Los filtros de tela recolectan de tamaños que van desde las 0,5 micras de diámetro, con eficiencias generalmente en exceso al 99. Están diseñados especialmente para procesos continuos de 24 horas diarias para recuperación de productos y control de la polución. El sistema de limpieza Pulsa Jet utiliza un poderoso chorro de aire comprimido en sentido contrario al flujo de aire, generando una onda de golpe, el cual limpia las talegas continuamente, automáticamente y secuencialmente mientras la filtración se realiza sin interrupción. Se ha comprobado que los sistemas de limpieza por aire comprimido tienen grandes ventajas sobre sistemas

de limpieza como el de aire reverso donde se requiere aislar el compartimiento que se ha de limpiar, o sobre el sistema de filtración electrostática en el que el mantenimiento y repuestos son costosos y de difícil consecución. (Grupo Ambiental GKL SAS, 2023)

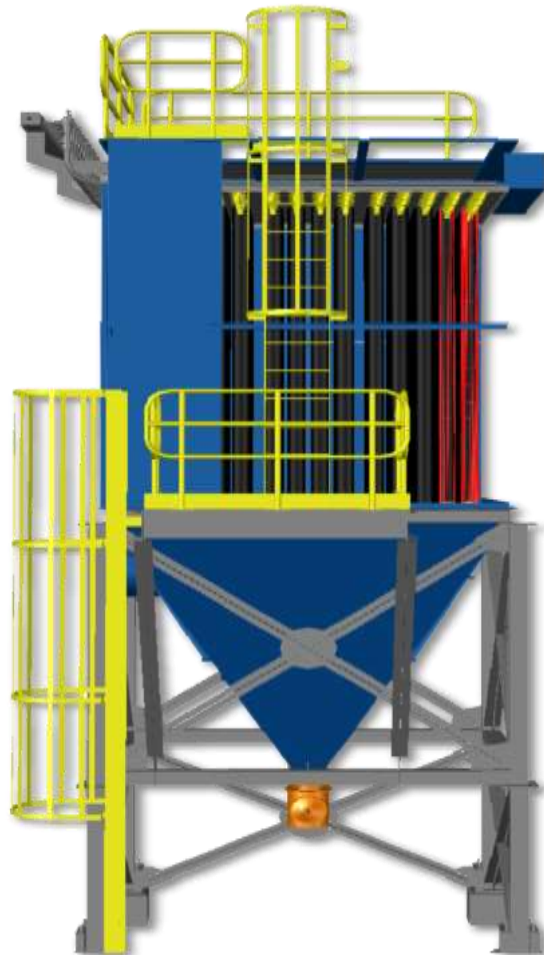


Figura 2-1: Filtro de mangas

Fuente: <https://termovent.cl/equipos/filtro-de-mangas/>

2.2.3.2. Ciclón industrial

Este equipo industrial se emplea para el transporte neumático de sólidos principalmente. Los separadores ciclones industriales aprovechan la fuerza centrífuga para separar los sólidos de una corriente de gas. Se producen dos espirales de gas, una descendente por la parte exterior y otra ascendente por la parte interior. Los sólidos descienden pegados a la pared del ciclón hasta la boca de salida, separándose de la corriente de aire ascendente por efecto de la gravedad.

Los ciclones se construyen siguiendo unas proporciones establecidas en función del tipo y la clase elegida. Existen diferentes clases como son: alta eficiencia, convencionales y de alta capacidad. (GMdix, 2022)



Figura 2-2: Ciclón separador

Fuente: <https://www.tamaaernova.com/es/33-ciclon-separador>

2.2.3.3. Exaustor centrifugo

Es una máquina que utiliza la fuerza centrífuga para mejorar la extracción de determinados elementos que puedan entorpecer las distintas operaciones que se llevan a cabo en los procesos industriales. Su mayor utilidad se ve representada con las variables del gas y líquido. Sin embargo, su principio de funcionamiento está apto para contrarrestar olores desagradables.

Su principio de funcionamiento radica en la fuerza centrífuga, la cual es producida por la rotación que permite el movimiento de determinada masa de aire o gas, a la que comunican presión para que pueda dominar las pérdidas de carga que se

producen por los ductos y transportar el flujo de un punto a otro. (GSL Industrias, 2021)



Figura 2-3: Exaustor Centrífugo

Fuente: <https://amc.com.bo/producto/extractor-centrifugo-14cm/>

2.2.4. Ciclón separador de partículas

El ciclón separador es un sistema de eliminación en seco de partículas de polvo, en el que la separación se realiza por fuerza centrífuga. Los ciclones están indicados para separar las partículas contaminantes cuya dimensión es media o grande.

En los colectores de polvo tipo ciclón comunes se habla de una eficiencia de eliminación satisfactoria (85% - 95%) cuando se tratan partículas de más de 10 μm . A menudo, los ciclones de eliminación se utilizan también como sistemas de prefiltración por su capacidad de tratar partículas grandes de manera eficiente y por lo tanto disminuir la carga de trabajo en el filtro final cuando la concentración de contaminantes del aire es elevada.

En un ciclón el aire contaminado se vehicula en el cuerpo del ciclón con una entrada tangencial de manera que se crea un flujo de aire por remolino. Por movimiento centrífugo las partículas se empujan contra la pared y por gravedad caen en la parte inferior desde donde se recogen y eliminan. (MONTES, 2023)

2.2.4.1. Funcionamiento del ciclón separador

La trayectoria del gas al ingresar al ciclón comprende de un doble vórtice, donde se forma un espiral descendente en las paredes del cilindro y ascendente por el centro. El gas entra a la cámara superior de forma tangencial y desciende en forma de espiral hasta el ápice de la sección cónica; luego, asciende en una segunda espiral, con diámetro más pequeño, y sale por la parte superior a través de un ducto vertical centrado. Los sólidos se mueven radialmente hacia las paredes, se deslizan por las paredes, y son recogidos en la parte inferior.

El diseño apropiado de la sección cónica del ciclón obliga al cambio de dirección del vórtice descendente; el vórtice ascendente tiene un radio menor, lo que aumenta las velocidades tangenciales; en el cono se presenta la mayor colección de partículas, especialmente de las partículas pequeñas al reducirse el radio de giro. (Cuascota, 2018)

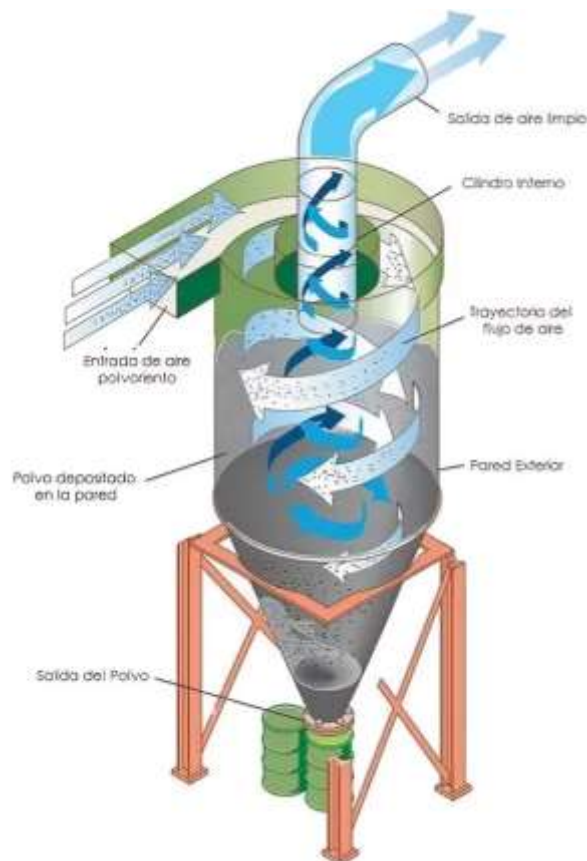


Figura 2-4: Separador de material particulado tipo ciclón
Fuente: https://www.ventdepot.com/d/Ciclones-Industriales/CycloWind/~MXCCW-022-CID-CCW_VD.html

2.2.4.2. Características técnicas

Los ciclones pueden operar a altas temperaturas. La temperatura máxima depende del material de construcción del ciclón. Por ejemplo, aquellos construidos en acero al carbono la máxima temperatura de operación es de 800 C.

En lo que respecta a la presión, lo importante es la diferencia de presión a la cual está sometida el ciclón. Si es un ciclón interno, por ejemplo, en un lecho fluidizado que opera a altas temperaturas, la diferencia de presión interna y externa del ciclón es nula, por lo cual no deben tener consideraciones de resistencia en su diseño. En cambio, si se trata de un ciclón externo que procesa gas sucio a alta presión, tendrá una presión interna mucho mayor que la externa, lo cual deberá tenerse en cuenta en diseño del mismo.

La fricción de las partículas sólidas erosiona severamente las paredes interiores del ciclón. Para disminuir el deterioro del mismo suele colocarse mallas del tipo hexagonal que se recubren con cemento. (GMdix, 2022)

2.2.5. Familias de ciclones

Los ciclones son un dispositivo de control de material particulado bastante estudiado, el diseño de un ciclón se basa normalmente en familias de ciclones que tienen proporciones definidas.

Las principales familias de ciclones de entrada tangencial son: ciclones de alta eficiencia, ciclones convencionales y ciclones de alta capacidad.

Los márgenes de la eficiencia de remoción para los ciclones están con frecuencia basados en las tres familias de ciclones, es decir, convencional, alta eficiencia y alta capacidad. La tabla 2-13 presenta el intervalo de eficiencia de remoción para las diferentes familias de ciclones. (Familias de ciclones, 2006)

2.2.5.1. Ciclones de alta eficiencia

Los ciclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los ciclones convencionales. Los ciclones de alta eficiencia pueden remover partículas de 5 μm con eficiencias hasta del 90%, pudiendo alcanzar mayores eficiencias con partículas más grandes. Los ciclones de alta eficiencia tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía para mover el gas sucio a través del ciclón. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada. (Diseño optimo de ciclones, 2006)

Tabla 2-1: Características de los ciclones de alta eficiencia

Dimensión	Nomenclaturas	Tipo de ciclón		
		Stairmand	Swinft	Echeverry
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.2	0.21	0.2
Altura de salida	S/Dc	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración	G	551.22	698.65	585.74
Numero cabezas de velocidad	NH	6.4	9.24	6.4
Numero de vórtices	N	5.5	6.0	5.5

Fuente: (Diseño optimo de ciclones, 2006)

2.2.5.2. Ciclones de alta capacidad

Los ciclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de 20 μm , aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas. Se ha reportado que los multiciclones han alcanzado eficiencias de recolección de 80 a 95 % para partículas de 5 μm . (Diseño optimo de ciclones, 2006)

Tabla 2-2: Características de los ciclones de alta capacidad

Dimensión	Nomenclaturas	Tipo de ciclón	
		Stairmand	Swifft
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.75	0.8
Ancho de entrada	b/Dc	0.375	0.35
Altura de salida	S/Dc	0.875	0.85
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.75	0.75
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.7
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.0
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.7
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.375	0.4
Factor de configuración	G	29.79	30.48
Numero cabezas de velocidad	NH	8.0	7.96
Numero de vórtices	N	3.7	3.4

Fuente: (Diseño optimo de ciclones, 2006)

2.2.5.3. Ciclones convencionales

Son las menos usadas por su baja eficiencia, en la siguiente tabla podemos apreciar la relación de dimensiones de los ciclones convencionales.

Tabla 2-3: Características de los ciclones convencionales

Dimensión	Nomenclaturas	Tipo de ciclón			
		Lapple	Swifft	Peterson-Whitby	Zenz
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.5	0.583	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.25	0.25	0.208	0.25
Altura de salida	S/Dc	0.625	0.6	0.583	0.75
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.5	0.5	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	2.0	1.75	1.333	2.0
Altura parte cónica	z/Dc	2.0	2.0	1.837	2.0
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.75	3.17	4.0
Diámetro salida partículas	B/Dc	0.25	0.4	0.5	0.25
Factor de configuración	G	402.88	381.79	342.29	425.41
Numero cabezas de velocidad	NH	8.0	8.0	7.76	8.0
Numero de vórtices	N	6.0	5.5	3.9	6.0

Fuente: (Diseño optimo de ciclones, 2006)

2.2.6. Tipos de ciclones

Los ciclones convencionales se pueden encontrar en una gran variedad de tamaños y la entrada al equipo puede ser bien rectangular o circular.

De acuerdo a su disposición geométrica se distinguen los siguientes tipos de separadores ciclónicos:

- a) Los **ciclones de entrada tangencial y descarga axial** representan el ciclón tradicional y, aunque se pueden construir con diámetros más grandes, lo más frecuente es que éstos se encuentren entre los 600 y los 915 mm.
- b) En los **ciclones con entrada tangencial y descarga periférica**, el gas sufre un retroceso en el interior del equipo al igual que ocurre en un ciclón convencional. Sin embargo, presenta el inconveniente de que el polvo no es eliminado en su totalidad de la corriente gaseosa, aunque sí se produce una concentración del mismo.
- c) En los **ciclones con entrada y descarga axial** la diferencia fundamental se encuentra en que los diámetros son de menores dimensiones (entre 25 y 305 mm), con lo que gracias a esta característica su eficiencia es mayor, aunque su capacidad es menor.
- d) Por otra parte, **los ciclones de entrada axial y salida periférica** proporcionan un flujo directo que es muy adecuado para conectarlos a fuentes de gran volumen, donde los cambios en la dirección del gas podrían ser un inconveniente. (Diquimia)

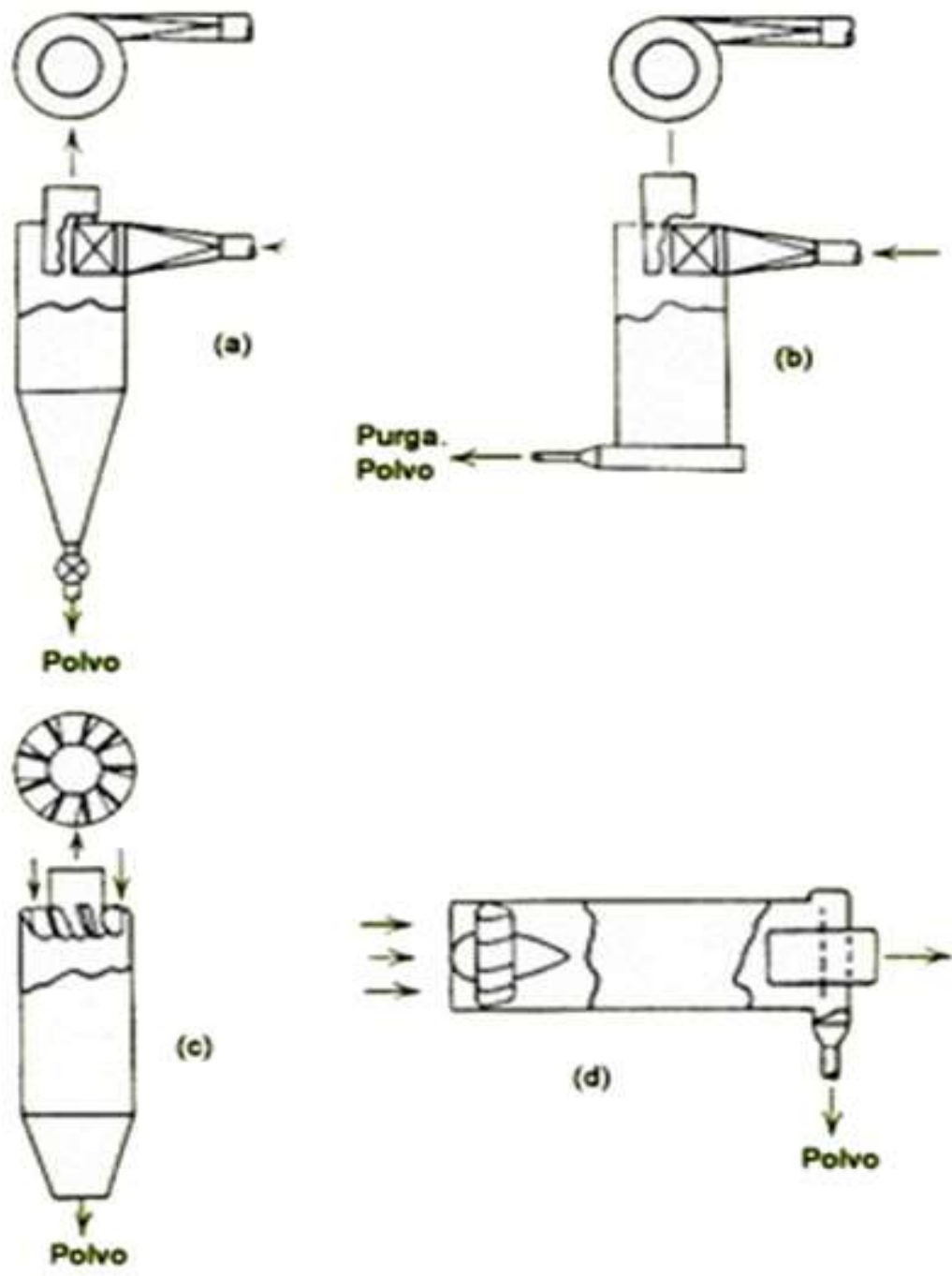


Figura 2-5: Tipos de separadores ciclónicos

Fuente: https://www.diquima.upm.es/old_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/CICLONES/Tipo6.htm

Tabla 2-4: Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de ciclones

Tipo de Ciclón	Ventajas	Desventajas
Ciclones de Entrada Tangencial y Descarga Axial	- Alta eficiencia en la separación de partículas.	- Desgaste en las paredes internas debido a la alta velocidad del flujo.
	- Diseño simple y compacto.	- Posible remoción ineficiente de partículas muy finas.
	- Mantenimiento sencillo.	
Ciclones con Entrada Tangencial y Descarga Periférica	- Mayor eficiencia en la separación de partículas finas.	- Diseño más complejo, aumentando costos de fabricación y mantenimiento.
	- Mejor control del flujo y menor turbulencia.	- Requiere más espacio para la instalación.
Ciclones con Entrada y Salida Axial	- Flujo más suave y menor turbulencia interna.	- Menor eficiencia en la separación de partículas, especialmente finas.
	- Facilidad de instalación en líneas verticales.	- Difícil optimización del diseño para diferentes tamaños de partículas.
Ciclones de Entrada Axial y Salida Periférica	- Alta eficiencia en la remoción de partículas finas.	- Mayor complejidad en el diseño y la fabricación.
	- Versatilidad en aplicaciones que requieren alta eficiencia con un diseño compacto.	- Mantenimiento más complicado, especialmente en la zona de salida periférica.

Fuente: Elaboración propia

2.2.7. Partes de un ciclón separador

Un Captador ciclónico que está constituido principalmente por un cilindro vertical que posee fondo cónico, este tiene una entrada tangencial que generalmente es rectangular. En él la corriente de gas cargada con partículas sólidas se introducen de forma tangencial en el recipiente cilíndrico a una velocidad aproximada de 15 a 30 m/s. Posterior a ello sale gas limpio a través de una abertura centrada que se encuentra en la parte superior. (Cuascota, 2018)

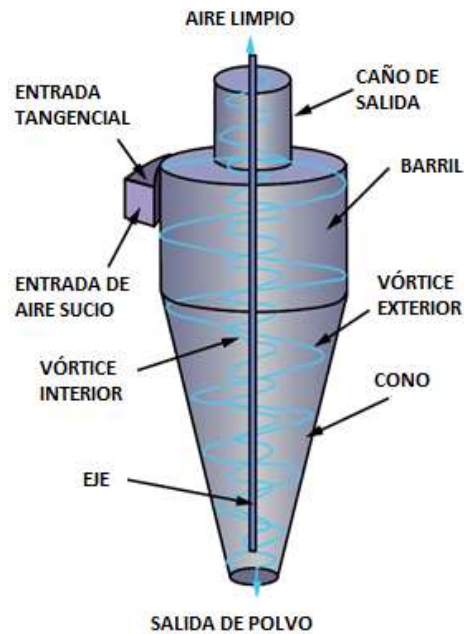


Figura 2-6: Partes del ciclón separador

Fuente: <https://millerspanish.com/blog/ciclones-y-sus-valvulas-rotativas-222>

2.3. INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

Se obtuvo información proporcionada por parte de la empresa sobre los datos técnicos que debe contar el diseño, como ser también la altura de la tolva de almacenamiento, espacio que cuenta para la implementación y a la vez también nos proporcionó la capacidad de producción por día que genera la línea de embolsado, la cual se detallara en las siguientes tablas:

Tabla 2-5: Datos obtenidos para el diseño

Característica	Valor	Unidad
Altura de la tolva de almacenamiento	5.5	m
Altura máxima del ciclón	7	m
Espacio libre para implementación	4	m ²
Temperatura ambiente	10-25	°C
Caudal	3.2	m ³ /s
presión	101.325	kPa
Eficiencia	>80	%
Velocidad de entrada	23-25	m/s
Horas de trabajo de la línea de embolsado	20	hr/día
Capacidad de producción de la línea de embolsado	50-55	Ton/día

Fuente: Elaboración propia

2.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Realizando un análisis a la información obtenida se deberá diseñar el ciclón con una altura que no sobrepase los 7 metros, ya que se nos dio ese parámetro para que no colisione con la estructura del techo de la planta de calcinación, también nos dice que cuentan con espacio reducido para una implementación, por tanto, no debemos sobre pasar los 4m². La empresa cuenta con personal de mantenimiento que también se encarga en la fabricación de nuevas implementaciones, por lo cual la proporción de planos de diseño es ideal para una rápida fabricación.

2.5. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para el diseño del ciclón extractor de polvo se debe considerar el lugar y el espacio con el que se cuenta para la instalación, así como también otros aspectos como la eficiencia, soldadura, recubrimiento y el material que será utilizado, de tal modo que sea técnica y económicamente factible para su implementación.

2.5.1. Diseño del ciclón

Se deberá seleccionar un tipo de ciclón tomando en cuenta el tamaño de la partícula de la ulexita, como así también sus características y la eficiencia de separación que se requiere. En términos generales, el tamaño de partícula de la ulexita calcinada suele estar en el rango de 40 a 80 micrómetros (μm)

Los cálculos para dimensionar un ciclón de eliminación de partículas deben realizarse con cuidado y detalle. Uno de los escenarios más importantes que se considera son las necesidades de la empresa Soccomavk. Se consideran variables que permiten diseñar un separador ciclónico eficiente. diseño, por lo que se detallan los parámetros sumamente importantes que son los siguientes:

- **Velocidad del Caudal de aire o gas (Q):** Es el volumen de gas que pasará a través del ciclón, expresado en m³/s o m³/h.

- **Diámetro del ciclón:** Este es uno de los más importantes factores, que cambian la eficiencia del ciclón, si el diámetro es menor y si su caída de presión se produce el cambio, entonces la eficiencia aumenta.
- **Temperatura:** La temperatura a la que funciona es la del ambiente que suele presentarse de 15 a 25 grados centígrados que está sucediendo dentro de la planta de calcinación y está limitada internamente por los materiales de construcción.
- **Velocidad de entrada:** la velocidad de entrada se selecciona según las especificaciones del ciclón, y varía entre 15 y 27 m/s.
- **Concentración de partículas:** la concentración de partículas varía. entre 2-230 g/m³ dependiendo del tipo de ciclón diseñado.

2.5.2. Dimensionamiento del ciclón

El diseño de un ciclón, un dispositivo utilizado para separar partículas sólidas de una corriente de gas, implica varias consideraciones importantes con respecto a su tamaño. Estos aspectos son cruciales para asegurar su eficacia a la hora de separar partículas y minimizar las pérdidas de presión. Estas son algunas consideraciones principales:

- **Diámetro del ciclón (D):** El diámetro del ciclón es uno de los parámetros más importantes y suele determinarse en función del flujo de gas y las características de las partículas. Un diámetro mayor puede aumentar la eficiencia de separación, pero también incrementará la resistencia al flujo.
- **Longitud del ciclón (L):** La longitud del ciclón también influye en su rendimiento. Una longitud mayor puede mejorar la eficiencia de separación, ya que proporciona más espacio para la desaceleración de las partículas y la separación por fuerza centrífuga. Sin embargo, una longitud excesiva puede aumentar la pérdida de presión y el costo de fabricación.
- **Dimensiones del tubo de entrada y salida:** El diseño del tubo de entrada y salida debe ser considerado para minimizar la recirculación de partículas y la pérdida de presión. Se pueden emplear geometrías

especiales, como deflectores o difusores, para mejorar el rendimiento del ciclón.

- **Dimensiones del vórtice central:** El vórtice central es una región de baja presión en el centro del ciclón donde las partículas más pequeñas pueden escapar con el flujo de gas de salida. El tamaño y la forma de esta región deben optimizarse para minimizar las pérdidas de partículas finas.
- **Espesor de las paredes:** El espesor de las paredes del ciclón debe ser suficiente para soportar las cargas mecánicas y resistir la abrasión de las partículas. Sin embargo, un espesor excesivo puede aumentar el peso y el costo del ciclón.

2.5.3. Eficiencia de colección

No existen un método teórico sencillo que permita el cálculo de la eficiencia (definido como el porcentaje de la masa de partículas entrante que es separado en el ciclón) de forma exacta. Esto es en parte debido a que, en la práctica, partículas pequeñas que teóricamente deberían salir con el gas, debido a la aglomeración y al barrido y choque con partículas mayores, serán capturadas; mientras, partículas grandes que deberían ser retenidas rebotarán contra las paredes o serán capturadas por turbulencias, escapándose del ciclón.

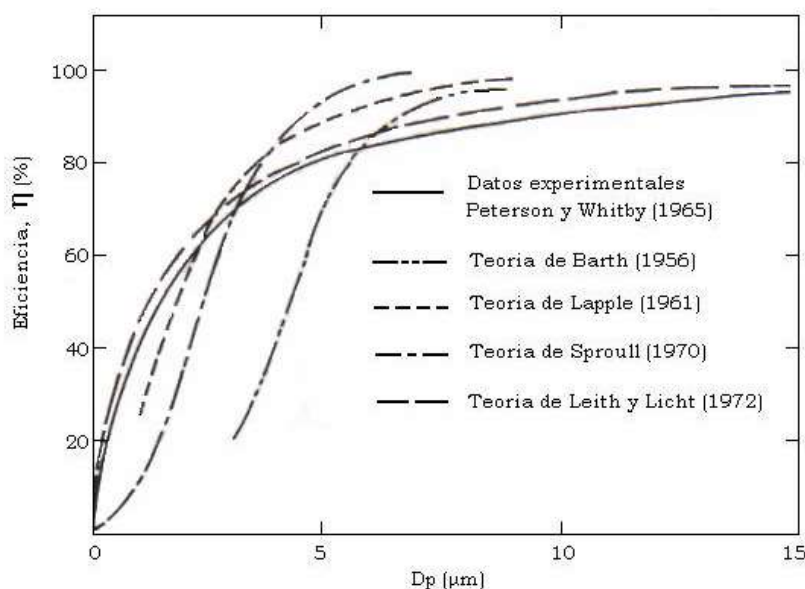


Figura 2-7: Eficiencia de colección del ciclón.
Fuente: (Eficiencia de colección del ciclón, 2006)

2.5.4. Material de fabricación del ciclón separador

Otra de las consideraciones que se debe tomar en cuenta es el material del cual el ciclón será fabricado ya que además de conocer las propiedades, podremos saber si resistirá frente a diversas condiciones de trabajo, así también el peso.

Entre los materiales más usados en la fabricación de ciclones separadores, por lo general están los aceros de un espesor de 1 a 3mm por sus por sus diferentes propiedades.

- **Acero inoxidable:** Resistente a la corrosión y alta temperatura.
- **Acero al carbono con revestimiento resistente a la abrasión:** Para proteger contra el desgaste debido a partículas abrasivas.

2.5.5. Simulación por software

Para realizar una simulación por software del diseño del ciclón, es imprescindible realizar un análisis dinámico de fluidos computacional (CFD), usando SolidWorks como herramienta de simulación, es necesario usar uno de sus complementos como Flow simulation, también es importante considerar varios aspectos clave del diseño como:

- **Geometría del ciclón:** Esto incluye dimensiones como el diámetro del ciclón, la longitud del cuerpo cónico, el ángulo del cono, la entrada y salida de los flujos de aire, entre otros. La precisión en la representación de la geometría es esencial para una simulación precisa.
- **Propiedades del fluido:** Las propiedades del fluido que se está separando, como la densidad y la viscosidad, deben estar bien definidas para la simulación. Estas propiedades influirán en el comportamiento del flujo dentro del ciclón.
- **Condiciones de entrada:** Es importante definir las condiciones de entrada al ciclón, como la velocidad y la distribución del flujo de aire entrante. Esto puede influir en la eficiencia de separación del ciclón.
- **Modelo de turbulencia:** La turbulencia es un aspecto crucial en la simulación del flujo de aire dentro del ciclón. Se deben seleccionar

modelos de turbulencia apropiados para capturar de manera precisa los efectos turbulentos en el flujo.

- **Interacción partícula-fluido:** Si se están separando partículas sólidas del flujo de aire, es importante modelar adecuadamente la interacción entre las partículas y el fluido. Esto puede incluir fenómenos como la sedimentación, la arrastre y la rotura de partículas.
- **Malla computacional:** La calidad de la malla computacional utilizada en la simulación puede tener un impacto significativo en la precisión de los resultados. Se debe prestar especial atención a la resolución de la malla en las regiones críticas del flujo, como la entrada, el cuerpo cónico y la salida del ciclón.

Al considerar estos aspectos en el diseño de la simulación por software del ciclón, se puede obtener una representación más precisa del comportamiento del flujo de aire y la separación de partículas dentro del dispositivo.

2.5.6. Estructura de soporte

Al diseñar la estructura de soporte para un ciclón, es importante tener en cuenta varios aspectos clave para garantizar su estabilidad, resistencia y funcionalidad. Aquí hay algunas consideraciones importantes:

- **Carga de diseño:** La estructura de soporte debe ser capaz de soportar todas las cargas aplicadas al ciclón, incluyendo su propio peso, las cargas debidas al material en proceso dentro del ciclón y las fuerzas del viento si el ciclón está ubicado en exteriores. Se deben considerar cargas estáticas y dinámicas.
- **Material de construcción:** El material de la estructura de soporte debe ser seleccionado cuidadosamente para garantizar resistencia y durabilidad. Los materiales comunes incluyen acero al carbono, acero inoxidable y aluminio, dependiendo de factores como la corrosión, la carga y el entorno de operación.
- **Diseño estructural:** La estructura de soporte debe diseñarse para distribuir adecuadamente las cargas y minimizar los puntos de tensión

concentrada. Se pueden utilizar técnicas de análisis estructural, como el método de los elementos finitos, para evaluar la resistencia y la rigidez de la estructura.

- **Conexiones:** Las conexiones entre la estructura de soporte y el ciclón deben ser robustas y seguras para garantizar la estabilidad del conjunto. Se deben utilizar técnicas de fijación adecuadas, como soldadura, pernos de alta resistencia o abrazaderas, dependiendo de la aplicación y el material.
- **Accesibilidad y mantenimiento:** Se debe diseñar la estructura de soporte de manera que permita un fácil acceso para inspección, mantenimiento y reparación del ciclón. Esto puede incluir la instalación de plataformas, escaleras o pasarelas según sea necesario.
- **Consideraciones ambientales:** Si el ciclón se encuentra en un entorno corrosivo o expuesto a condiciones ambientales severas, se deben tomar medidas adicionales para proteger la estructura de soporte contra la corrosión y el deterioro. Esto puede incluir recubrimientos protectores o materiales resistentes a la corrosión.
- **Normativas y códigos:** Es importante asegurarse de que el diseño y la construcción de la estructura de soporte cumplan con las normativas y códigos de construcción locales y nacionales aplicables, así como con cualquier normativa específica de la industria.

Al considerar estos aspectos en el diseño de la estructura de soporte para un ciclón, se puede garantizar su integridad estructural y su funcionamiento seguro y confiable a lo largo del tiempo.

2.5.7. Soldadura

La soldadura es un proceso de fijación de dos o más piezas (normalmente de metal) que mediante calor y/o presión se funde parte de dichas piezas o se añade un material de aporte, se juntan y al enfriarse se produce la unión de ellas. (CEIF, 208)

Existen distintos tipos de soldadura dependiendo del resultado que se quiera obtener. A continuación, se detallará algunos de los tipos de soldadura y sus características:

- **Soldadura Tig (Gas inerte Tungsteno):** La soldadura de Gas Inerte Tungsteno (TIG) usa el calor generado por un arco eléctrico que golpea entre un electrodo de tungsteno y la pieza en la que se trabaja. Esto permite que en el área de unión se fusione metal. Se puede trabajar sin relleno o agregando el relleno mediante un cable consumible. Las soldaduras con TIG son de muy alta calidad y se pueden producir en un amplio conjunto de materiales con grosores que van hasta 8 o 10 milímetros, siendo muy adecuado para material en hojas.
- **Soldadura MIG (Metal Inerte Gas) – MAG (Metal Active Gas):** La soldadura MIG-MAG se llama así porque depende del gas que se inyecte (Metal Inert Gas o Metal Active Gas) y se lleva a cabo por arco bajo gas protector con electrodo consumible. El arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas y queda protegido por un gas inerte o por un gas activo, de ahí su nombre. Es un proceso muy productivo y de muy buena calidad y las soldaduras pueden tener espesores desde 0,7 a 6 mm.
- **Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW):** En este tipo de soldadura se produce una diferencia de potencial entre el electrodo y las piezas a soldar. El calor que produce el arco eléctrico funde el extremo del electrodo y el metal de la pieza. (CEIF, 208)

Para una posterior fabricación del ciclón y su estructura de soporte, la normativa de soldadura aplicable puede variar según la ubicación geográfica, la industria específica y las regulaciones locales. Sin embargo, en muchos casos, las normas internacionales como las establecidas por la American Welding Society (AWS) o la International Organization for Standardization (ISO) proporcionan directrices ampliamente aceptadas para la soldadura en diferentes aplicaciones.

Algunas normas comunes que podrían aplicarse a la soldadura en la fabricación del ciclón incluyen:

- **AWS D1.1/D1.1M - Structural Welding Code - Steel:**
El código se desarrolló específicamente para estructuras de acero soldadas que utilizan aceros al carbono o de baja aleación de 1/8 pulgadas [3 mm] de espesor o más gruesos, con un límite elástico mínimo de 100 ksi [690 MPa] o menos. El código puede ser apto para regir la fabricación estructural fuera del alcance del objetivo previsto. (American Welding Society, 2015)
- **AWS D1.6/D1.6M - Structural Welding Code - Stainless Steel:**
Este código cubre los requisitos de soldadura aplicables a estructuras y soldaduras de acero inoxidable sujetas a diseño. Se utilizará junto con cualquier código o especificación complementaria para el diseño o construcción de estructuras y piezas soldadas de acero inoxidable. Cuando este código está estipulado en los documentos del contrato, se requerirá el cumplimiento de todas las disposiciones del código, excepto aquellas disposiciones que el Ingeniero o los documentos del contrato específicamente modifican o eximen. (American Welding Society, 2007)
- **ISO 9606 - Qualification testing of welders - Fusion welding:** Esta parte de la Norma ISO 9606 especifica los requisitos para la prueba de cualificación de soldadores para el soldeo por fusión de aceros. Proporciona una serie de reglas técnicas para una prueba de cualificación sistemática del soldador, permitiendo que tales cualificaciones sean uniformemente aceptadas independientemente del tipo de producto, localización y persona u organismo examinador. Cuando se cualifican soldadores se hace hincapié en la destreza del soldador para manipular manualmente el electrodo, pistola de soldeo o soplete y, de ese modo, realizar una soldadura de calidad aceptable. (UNE, 2017)

Es importante consultar las normativas y códigos aplicables en la ubicación específica de fabricación del ciclón y asegurarse de cumplir con los requisitos de soldadura relevantes para garantizar la calidad, la seguridad y la integridad estructural del producto final.

2.5.8. Recubrimiento de protección

Se debe considerar de igual forma la protección tanto el ciclón como su estructura de soporte contra la corrosión, se pueden utilizar recubrimientos de pintura anticorrosiva de alta calidad.

Los revestimientos de protección contra la corrosión son un tipo especial de revestimiento que se aplica a las superficies metálicas para proteger la superficie subyacente de posibles daños corrosivos causados por el agua, el oxígeno o los electrolitos. La utilización de revestimientos anticorrosión ofrece un medio para mejorar el rendimiento y la vida útil de los metales y otros sustratos. (TIGER, 2024)

Algunas consideraciones al momento de seleccionar la pintura anticorrosiva adecuada es la siguiente:

- **Identificar el sustrato:** Determinar el tipo de metal o material que deseamos proteger. Esto puede ser acero, hierro, aluminio u otro material.
- **Evaluar el entorno:** Considerar el entorno en el que estará el objeto o la estructura. ¿Estará expuesto al agua salada, productos químicos corrosivos, humedad constante, cambios de temperatura extremos u otros factores ambientales?
- **Determinar el nivel de corrosión esperado:** ¿Qué tan severo será el entorno en términos de corrosión? Esto nos ayudará a decidir qué tipo de protección anticorrosiva necesitamos.
- **Considera el método de aplicación:** Algunas pinturas anticorrosivas requieren ciertas condiciones de aplicación, como temperatura y humedad específicas, así como técnicas de aplicación particulares. Debemos asegurarnos de que puedes cumplir con estos requisitos.
- **Revisa las especificaciones técnicas y las garantías:** Antes de comprar la pintura, asegurarnos de revisar las especificaciones técnicas del producto y las garantías ofrecidas por el fabricante. Esto nos dará una idea de su durabilidad y rendimiento esperado.

Al seleccionar una pintura anticorrosiva, se debe asegurar elegir una que sea compatible con el sustrato metálico del ciclón y su estructura de soporte, así como con el entorno operativo específico. Además, es necesario seguir las instrucciones del fabricante para la preparación de la superficie y la aplicación adecuada de la pintura para garantizar una protección efectiva contra la corrosión.

2.6. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

Para el diseño del ciclón se debe tomar en cuenta datos de partida proporcionado por la empresa como:

Tabla 2-6: Datos proporcionados por la empresa

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
ρ_p	Densidad de la partícula	1,4	kg/m^3
T	Temperatura de operación	20	$^{\circ}C$
Q	Caudal	3,2	m^3/s
p	Operación de presión	101,325	kPa
C_p	Concentración de partículas	2,0	g/m^3
E	Eficiencia	>80	%
V_i	Velocidad de entrada	25	m/s

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-7: Parámetros de diseño para los ciclones de entrada tangencial

Parámetro	Valor
Diámetro del ciclón (D_c)	<1,0m
Caída de presión	<2488,16 Pa
Relación de velocidades (V_i/V_s)	<1,35
Velocidad de entrada	15,2 – 27,4 m/s

Fuente: (Diseño óptimo de ciclones, 2006)

Tabla 2-8: Distribución de tamaño de las partículas

Tamaño μm	%masico
5 – 10	45
10 – 30	25
30 – 50	15
50 – 70	10
70 - 100	5

Fuente: (Diseño óptimo de ciclones, 2006)

2.6.1. Selección del tipo de ciclón

El ciclón de alta eficacia se eligió basándose en las características de las familias de ciclones de entrada tangencial y descarga axial. Este ciclón es perfecto por su mayor eficiencia de remoción de partículas.

Tabla 2-9: Eficiencia de remoción de familias de ciclones

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

Fuente: (Diseño optimo de ciclones, 2006)

- **PST (Partículas Suspendidas Totales):** Incluye todas las partículas suspendidas en el aire, independientemente de su tamaño.
- **PM10:** Partículas con un diámetro menor o igual a 10 micrómetros, que pueden afectar las vías respiratorias superiores.
- **PM2.5:** Partículas con un diámetro menor o igual a 2,5 micrómetros, que pueden penetrar profundamente en los pulmones y causar problemas de salud graves.

2.6.2. Diámetro del ciclón

se tiene el valor del caudal de $3,2 \frac{m^3}{s}$ con estos datos se determinó el diámetro del ciclón mediante la siguiente ecuación del área:

$$Area = \frac{Q}{V_i} = 0,128$$

Área del ducto de entrada: $a \times b$

Para un ciclón Stamaïrmand (Tabla 2-8)

Altura de entrada al ciclón (a): $a = 0,5Dc$

Ancho de entrada al ciclón (b): $b = 0,2Dc$

Despejando e igualando el área se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$a \times b = 0,5Dc \times 0,2Dc = 0,128m^2$$

Entonces:

$$Dc = \sqrt[2]{\frac{0,128}{0,5 \times 0,2}}$$

$$Dc = 1.131 \text{ m}$$

2.6.3. Dimensiones del ciclón de partículas

Obteniendo el diámetro del ciclón se pueden obtener las diversas medidas para el ciclón separador de partículas.

- ❖ Altura de entrada al ciclón (a):

$$a = 0,5Dc$$

$$a = 0,566 \text{ m}$$

- ❖ Ancho de entrada al ciclón (b):

$$b = 0,2Dc$$

$$b = 0,226 \text{ m}$$

- ❖ Altura de salida del ciclón (S):

$$S = 0,5Dc$$

$$S = 0,566 \text{ m}$$

- ❖ Diámetro de salida del ciclón (Ds):

$$Ds = 0,5Dc$$

$$Ds = 0,566 \text{ m}$$

- ❖ Altura parte cilíndrica del ciclón (h):

$$h = 1,5Dc$$

$$h = 1,697 \text{ m}$$

- ❖ Altura total del ciclón (H):

$$H = 4,0Dc$$

$$H = 4,525 \text{ m}$$

- ❖ Altura parte cónica del ciclón (z):

$$z = 2,5Dc$$

$$z = 2,282 \text{ m}$$

- ❖ Diámetro de salida del polvo (B):

$$B = 0,375D_c$$

$$B = 0,424 \text{ m}$$

Tabla 2-10: Medidas del ciclón

Abreviatura	Característica	Medida(m)
D_c	Diámetro del ciclón	1,131
a	Altura de entrada al ciclón	0,566
b	Ancho de entrada al ciclo	0,226
S	Altura de salida del ciclón	0,566
D_s	Diámetro de salida del ciclón	0,566
h	Altura parte cilíndrica del ciclón	1,697
H	Altura total del ciclón	4,525
z	Altura parte cónica del ciclón	2,828
B	Diámetro salida del polvo	0,424
G	Factor de configuración	551,22
NH	Número de cabezas de velocidad	6,4
N	Numero de vórtices	5,5

Fuente: Elaboración propia

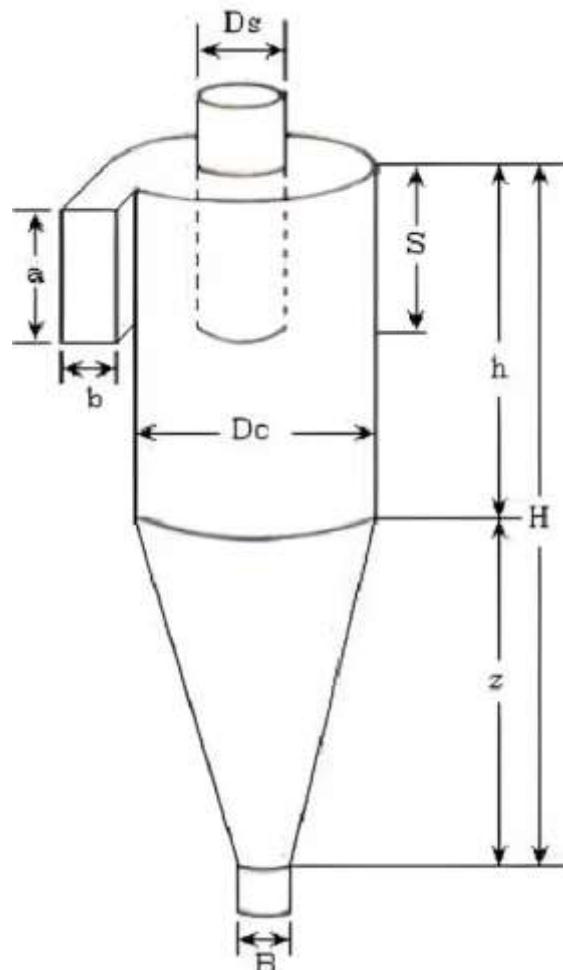


Figura 2-8: Dimensiones del ciclón

Fuente: (Diseño optimo de ciclones, 2006)

2.6.4. Eficiencia del ciclón

El cálculo de la eficiencia de un ciclón se basa en comparar la velocidad de entrada del ciclón con la velocidad de saltación del material particulado. Si el resultado de esta comparación es menor a 1.35, no se produce resuspensión del material dentro del ciclón. Para llevar a cabo este análisis, es necesario calcular la velocidad equivalente del material particulado, lo que permite determinar la velocidad de saltación.

- **Velocidad equivalente**

La velocidad equivalente es aquella con la que las partículas ingresan al ciclón, la corriente de gas que transporta el polvo de ulexita es el aire, se tiene en cuenta factores tales como viscosidad, densidad del material particulado, se trabaja a la temperatura dentro de la planta de calcinación es de 20 grados centígrados. Los datos del material particulado son:

$$\rho = 1,204 \frac{Kg}{m^3}$$
$$\mu = 2.,074 \times 10^{-5} \frac{Kg}{ms}$$

La velocidad equivalente se la determina mediante la siguiente ecuación:

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \times g \times \mu(\rho_p - \rho)}{3 \times \rho^2}}$$
$$W = 0,639 \frac{m}{s}$$

- **Relación entre la altura de entrada y el diámetro del ciclón:**

$$K_a = \frac{b}{D_c}$$
$$K_a = 0,5$$

- **Relación entre la base de entrada y el diámetro del ciclón:**

$$K_b = \frac{b}{D_c}$$
$$K_b = 0,2$$

- **Velocidad de saltación**

Un factor clave en la eficiencia de un ciclón es la velocidad de entrada. Si esta velocidad es baja, la eficiencia disminuye, ya que la fuerza centrífuga no se aprovecha al máximo para separar las partículas. La velocidad de saltación, que se calcula usando datos como el diámetro de entrada y la velocidad inicial, ayuda a mantener suspendidas las partículas dentro del ciclón.

La ecuación para determinar la velocidad de saltación es:

$$V_s = \frac{4,913 \times W \times K_b^{0,4} \times Dc^{0,067} \times \sqrt[3]{V_i}}{\sqrt[3]{1 - K_b}}$$
$$V_s = 15,326 \frac{m}{s}$$

- **Relación ente velocidades**

La relación entre las velocidades se fundamenta en un principio según el cual, si el resultado es menor a 1,35, no ocurre la resuspensión de las partículas. Esto se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{V_i}{V_s} < 1,35$$

$$\frac{V_i}{V_s} = 1,631$$

Al obtener un valor de $1,13 < a < 1,35$ se determina que existe una resuspensión de material particulado dentro del ciclón de partículas

- **Volumen del ciclón evaluado sobre la salida**

En este aspecto se emplea el volumen de la parte cilíndrica del ciclón de partículas menos el volumen de salida mediante la siguiente ecuación:

$$V_{sc} = \frac{\pi}{4} \left(S - \frac{a}{2} \right) (Dc^2 - Ds^2)$$

$$V_{sc} = 0.213m^3$$

- **Longitud natural del ciclón**

Es la distancia tomada desde la altura superior del ciclón hasta el inicio del vórtice, la obtenemos mediante la siguiente ecuación:

$$L = 2,3 \times D_s \times \sqrt[3]{\frac{Dc^2}{a \times b}}$$

$$L = 2,803m$$

Se deberá cumplir la siguiente condición:

$$L < H - S$$

$$2,803 < 4,525 - 0,566$$

$$2,803 < 3,984$$

Al cumplir la condición, calculamos el volumen evaluado sobre la longitud natural del ciclón.

- **Factor de dimensiones lineales**

El factor de dimensiones lineales se lo obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$K_L = Dc - (Dc - B) \left(\frac{S + L - h}{z} \right)$$

$$K_L = 0,713$$

- **Volumen del ciclón evaluado sobre la longitud natural**

El volumen de ciclón evaluado sobre la longitud natural del sistema se lo obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$V_R = \frac{\pi}{4} \times Dc^2 \times (h - S) + \frac{\pi}{12} \times Dc^2 \times (L + S - h) \left[1 + \frac{K_L}{Dc} + \left(\frac{K_L}{Dc} \right)^2 \right] - \frac{\pi}{4} \times Ds^2 \times L$$

$$V_R = 1,569m^3$$

- **Factor dimensional de las proporciones volumétricas del ciclón**

El factor dimensional de las proporciones volumétricas del ciclón se da mediante la siguiente ecuación:

$$K_C = \frac{V_{sc} + \frac{V_R}{2}}{Dc^3}$$

$$K_C = 0,689m^3$$

- **Factor de configuración**

$$G = \frac{8K_C}{(K_a \times K_b)^2}$$

$$G = 551,219$$

- **Exponente de vórtice**

$$n = 1 - (1 - 0,67 \times Dc^{0,14}) \times \left(\frac{T}{283} \right)^{0,3}$$

$$n = 0,678$$

$$T = 20^\circ C = 293,15K$$

- **Tiempo de relajación**

El tiempo de relajación hace referencia al tiempo que se necesita para que el polvo alcance la velocidad de caída lo cual se emplea la siguiente ecuación:

$$T_i = \frac{\rho_p \times D_{pi}^2}{18 \times \mu}$$

Para una partícula con $D_{pi} = 7,5\mu m (7,5 \times 10^{-6})$, tenemos:

$$T_i = 2,19 \times 10^{-4}$$

Los tiempos de relajación para los demás tamaños de partículas se reportan en la tabla 2-18

- **Eficiencia fraccional por intervalos de tamaño**

$$\eta_i = 1 - e^{[-2 \times (\frac{G \times T \times Q \times (n+1)}{Dc^2})^{\frac{0,5}{n+1}}]}$$

$$\eta_i = 0,789$$

Las eficiencias fraccionales por intervalos de tamaño para los demás tamaños de partículas se reportan en la tabla 2-18

- **Eficiencia total**

$$\eta_T = \sum \eta_i \times m_i$$

$$\eta_T = 88,7\%$$

Los resultados para hallar la eficiencia total se reportan en la tabla 2-18

Tabla 2-11: Intervalo de la eficiencia

μm	m_i	D_p	$D_p(m)$	T_i	η_i	$\eta_i \times m_i$	
5	10	45	7,5	$7,5 \times 10^{-6}$	$2,109 \times 10^{-4}$	0,789	35,505
10	30	25	20	$2,0 \times 10^{-5}$	2×10^{-3}	0,939	23,475
30	50	15	40	$4,0 \times 10^{-5}$	6×10^{-3}	0,985	14,775
50	70	10	60	$6,0 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-2}$	0,995	9,95
70	100	5	85	$8,5 \times 10^{-5}$	$2,7 \times 10^{-2}$	0,999	4,995
Eficiencia total						88,7	

Fuente: (Diseño optimo de ciclones, 2006)

- **Caída de presión**

Calcular la caída de presión del ciclón y si se requiere seleccionar otro tipo de ciclón, para ello debe cumplir la siguiente condición:

$$\Delta P < 2488,16 Pa$$

$$\Delta P = \frac{1}{2} \times \rho \times V_i^2 \times N_H$$

$$\Delta P = 2408 \text{ Pa}$$

El valor obtenido es menor a 2488,16 Pa, lo cual cumple con los parámetros establecidos para el diseño de un ciclón de partículas de entrada tangencial y descara axial de alta eficiencia.

2.6.5. Espesor de las planchas de acero

Para calcular el espesor de las planchas de acero del ciclón colector de polvo, es necesario considerar tanto la presión generada por el flujo de aire como la resistencia del material utilizado (en este caso, acero ASTM A36). El cálculo se basa en varios factores, como la velocidad del aire, la densidad del aire, el caudal, y las propiedades mecánicas del acero.

- Espesor de la plancha de acero

Para determinar el espesor de la plancha, utilizamos la fórmula de resistencia a la flexión de un cilindro debido a la presión interna. La fórmula de espesor mínimo para un recipiente de presión de pared delgada es:

$$t = \frac{P_d \times D}{2 \times \sigma_{admissible}}$$

Donde:

t = Espesor de la plancha

P_d = 101325 Pa (Presión dinámica de operación)

D = 1,131m (diámetro del ciclón)

$\sigma_{admissible} = \frac{250 \times 10^6}{1,5} = 166,67 \times 10^6 \text{ Pa}$ (Tensión admisible del acero ASTM

A36, para un factor de seguridad de 1,5

Sustituyendo:

$$t = \frac{P_d \times D}{2 \times \sigma_{admissible}}$$

$$t = \frac{101325 P_a \times 1,131 m}{2 \times 166,67 \times 10^6 P_a}$$

$$t = 5,65 \times 10^{-4} m = 0.565 mm$$

$$t \approx 1 mm$$

Aunque el cálculo inicial sugiere un espesor de 1 mm, se optará por un espesor de 3 mm para garantizar una mayor resistencia y durabilidad. Esta elección considera posibles desgastes, corrosión, abrasión y otros factores operativos que podrían afectar la integridad del diseño y reducir su vida útil a lo largo del tiempo.

2.6.6. Selección del material

El acero ASTM A36 es una opción comúnmente utilizada en la fabricación de ciclones colectores de polvo debido a varias propiedades y ventajas que ofrece.

A continuación, se presentan las razones específicas que justifican el uso de acero ASTM A36 para fabricar un ciclón colector de polvo de ulexita en la línea de embolsado:

- Su límite elástico mínimo de 250 MPa (36,300 psi) garantiza que el material pueda soportar tensiones significativas sin deformarse permanentemente.
- El acero ASTM A36 es fácil de cortar, soldar y formar, lo cual simplifica el proceso de fabricación del ciclón. Esto permite una producción más eficiente y económica. (htpipe, 2022)
- Su costo relativamente bajo en comparación con otros materiales de alta resistencia hace que sea una opción económica para la fabricación de ciclones.
- Aunque el acero ASTM A36 no es altamente resistente a la corrosión por sí mismo, puede ser fácilmente recubierto o tratado (por ejemplo, mediante galvanización o aplicación de pinturas especiales) para mejorar su resistencia a la corrosión.
- La ulexita, siendo un mineral no excesivamente abrasivo, no requiere materiales extremadamente resistentes al desgaste. El acero ASTM A36 proporciona una resistencia suficiente para manejar el polvo de ulexita sin desgaste prematuro.

2.6.7. Soldadura aplicada

Se optara por la soldadura SMAW por que ofrece varias ventajas significativas: es relativamente insensible a las corrientes de aire, el equipo necesario es económico y fácilmente transportable, se puede aplicar a materiales con espesores mayores de 2 milímetros, es adecuada para una amplia gama de aleaciones y metales, no requiere protección adicional como fundentes granulares o gases auxiliares, y es adaptable a diferentes espacios de trabajo, ya sean abiertos, cerrados o con restricciones de espacio. (Grupo Acura, 2023)

El uso del electrodo 6013 en la fabricación de un ciclón colector de polvo de ulexita está justificado por varias razones. Su compatibilidad con el acero ASTM A36, facilidad de uso, versatilidad en posiciones de soldadura, y balance entre costo y rendimiento lo hacen una elección óptima para una posterior fabricacion. Además, su disponibilidad y características de seguridad contribuyen a un proceso de fabricación más eficiente y confiable. Estas propiedades aseguran que las uniones soldadas serán fuertes y duraderas, manteniendo la integridad estructural del ciclón y su eficiencia operativa a lo largo del tiempo. (WURTH)

2.6.8. Análisis y simulación del ciclón utilizando SolidWorks

➤ **Simulación del ciclón mediante dinámica de fluidos computacional (CFD):**

La simulación CFD (dinámica de fluidos computacional) de un ciclón es una herramienta poderosa para analizar el comportamiento del flujo de aire y la separación de partículas en un ciclón

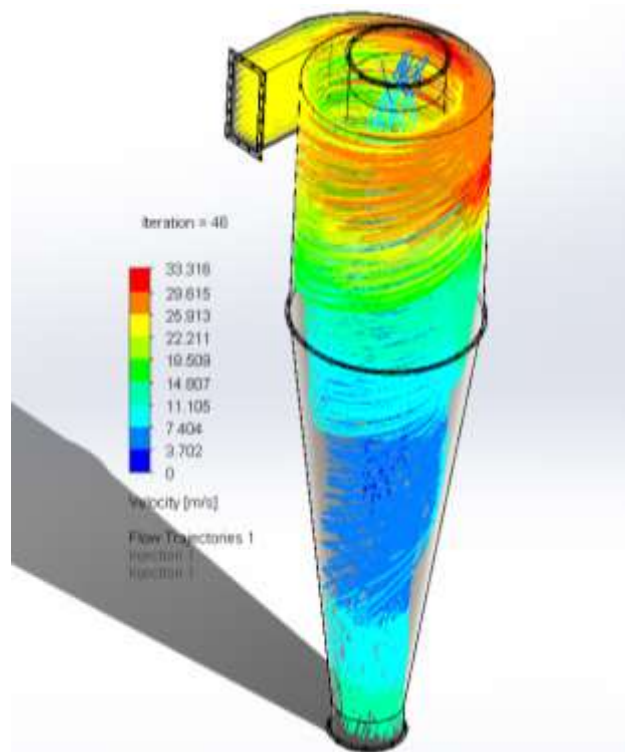


Figura 2-9: Comportamiento de la velocidad del aire
Fuente: Elaboración propia con SolidWorks

Esta simulación muestra el comportamiento típico de un ciclón, con un flujo de alta velocidad en la entrada que disminuye conforme el fluido desciende en espiral. Este comportamiento es crucial para el correcto funcionamiento del ciclón en aplicaciones de separación de partículas.

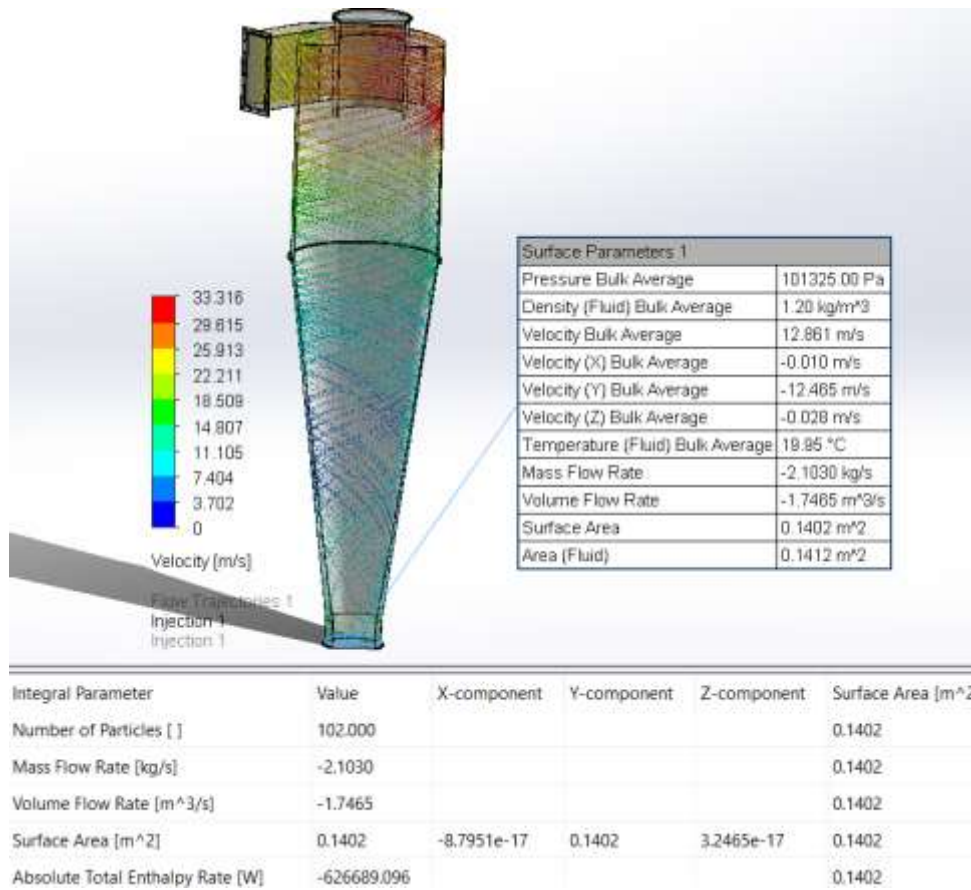


Figura 2-10: Resultados de la simulación

Fuente: Elaboración propia con SolidWorks

La simulación proporciona una visión detallada de cómo se comporta el flujo dentro de un ciclón, con énfasis en las velocidades, caudales y otras propiedades termodinámicas del fluido. La información es consistente con la operación de un ciclón, donde se espera que el fluido tenga un movimiento en espiral descendente, con alta velocidad en la entrada y disminución hacia la parte inferior del dispositivo, acompañado de una separación eficiente de partículas.

➤ **Simulación de la estructura mediante el análisis de elementos finitos:**

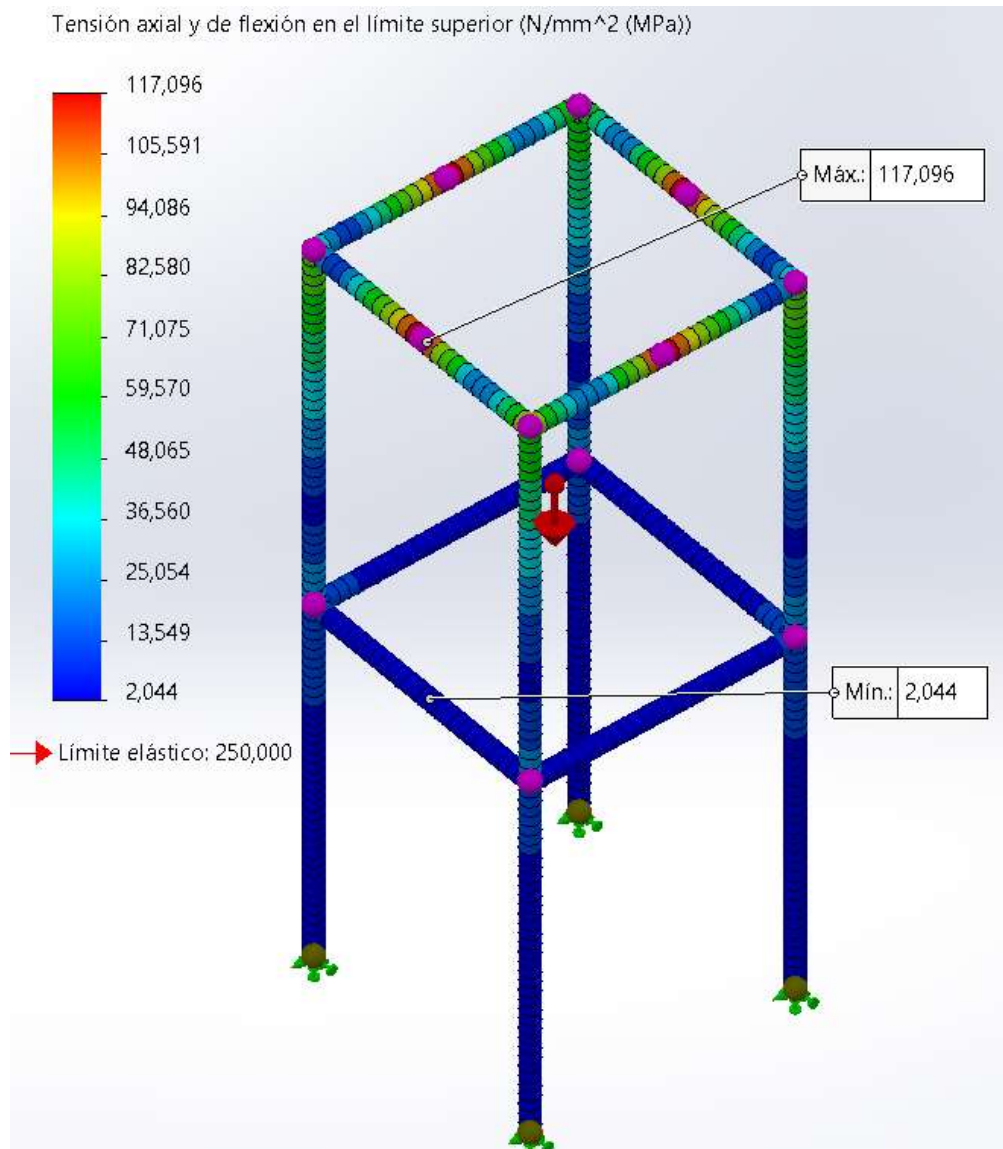


Figura 2-11: Análisis estático tensión nodal
Fuente: Elaboración propia con SolidWorks

El esfuerzo máximo registrado en la estructura es de 117,096 MPa. Este valor está muy por debajo del límite elástico del material (250 MPa), lo que indica que la estructura opera dentro de un rango seguro y no está en riesgo de sufrir deformaciones bajo las condiciones de carga simuladas.

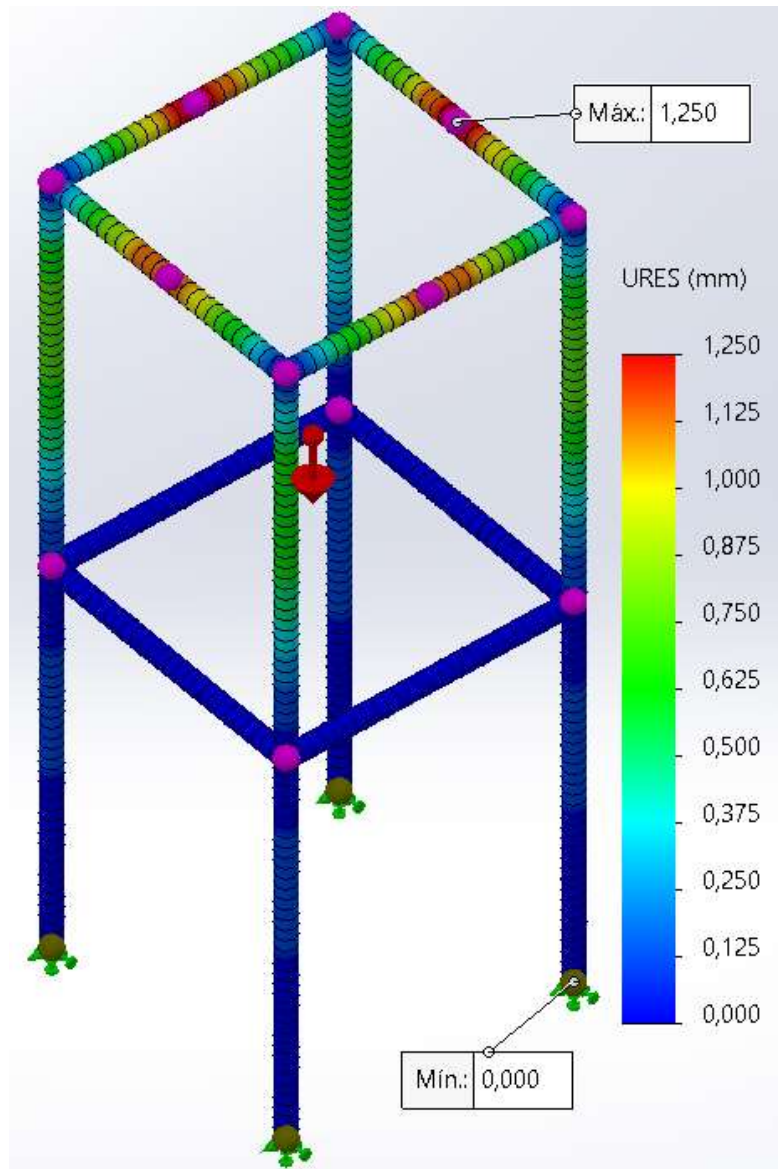


Figura 2-12: Desplazamiento estático
Fuente: Elaboración propia con SolidWorks

El análisis de desplazamientos en la estructura revela que la mayoría de los componentes experimentan deformaciones bajas, indicando una buena rigidez estructural. El desplazamiento máximo registrado es de 1,250 mm y se encuentra en una de las barras superiores, mientras que el desplazamiento mínimo es de 0,000 mm en las bases donde la estructura está fija.

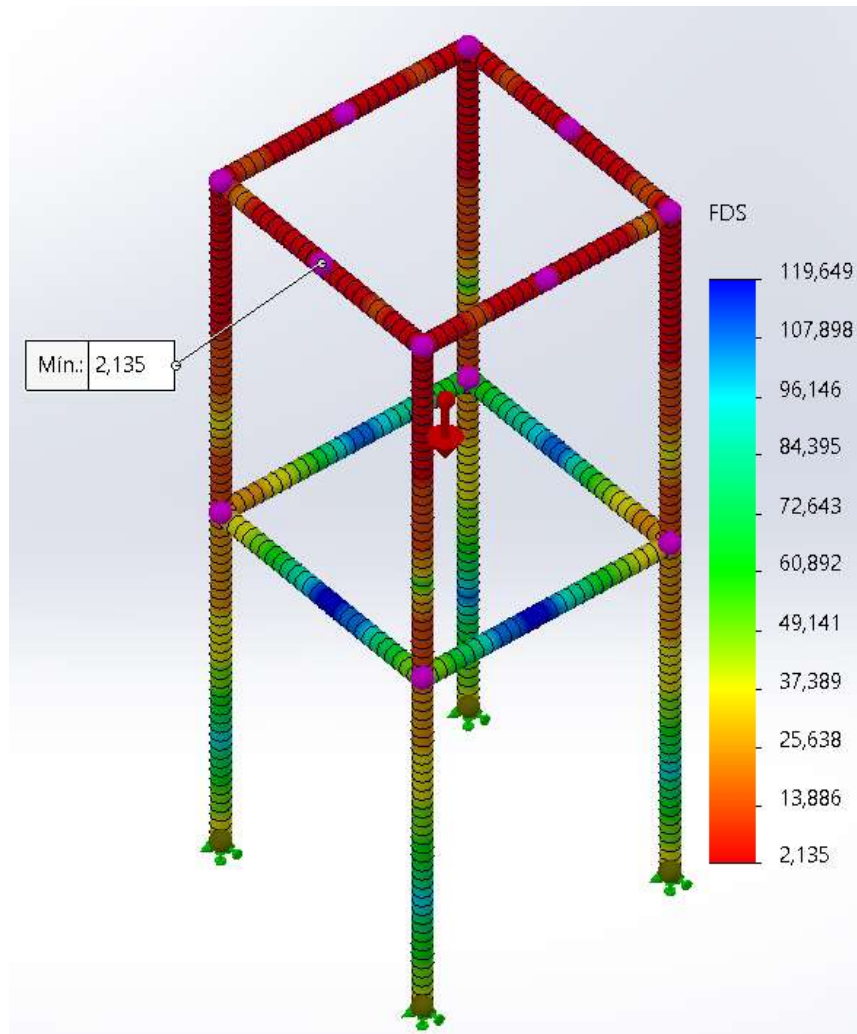


Figura 2-13: Factor de seguridad
Fuente: Elaboración propia con SolidWorks

El análisis del Factor de Seguridad (FDS) de la estructura indica que, en general, la estructura es robusta y segura para las cargas a las que se ha sometido en la simulación. Con un FDS mínimo de 2,135, la estructura tiene más del doble de la capacidad necesaria para soportar las cargas, lo cual es un indicativo de un diseño conservador y seguro.

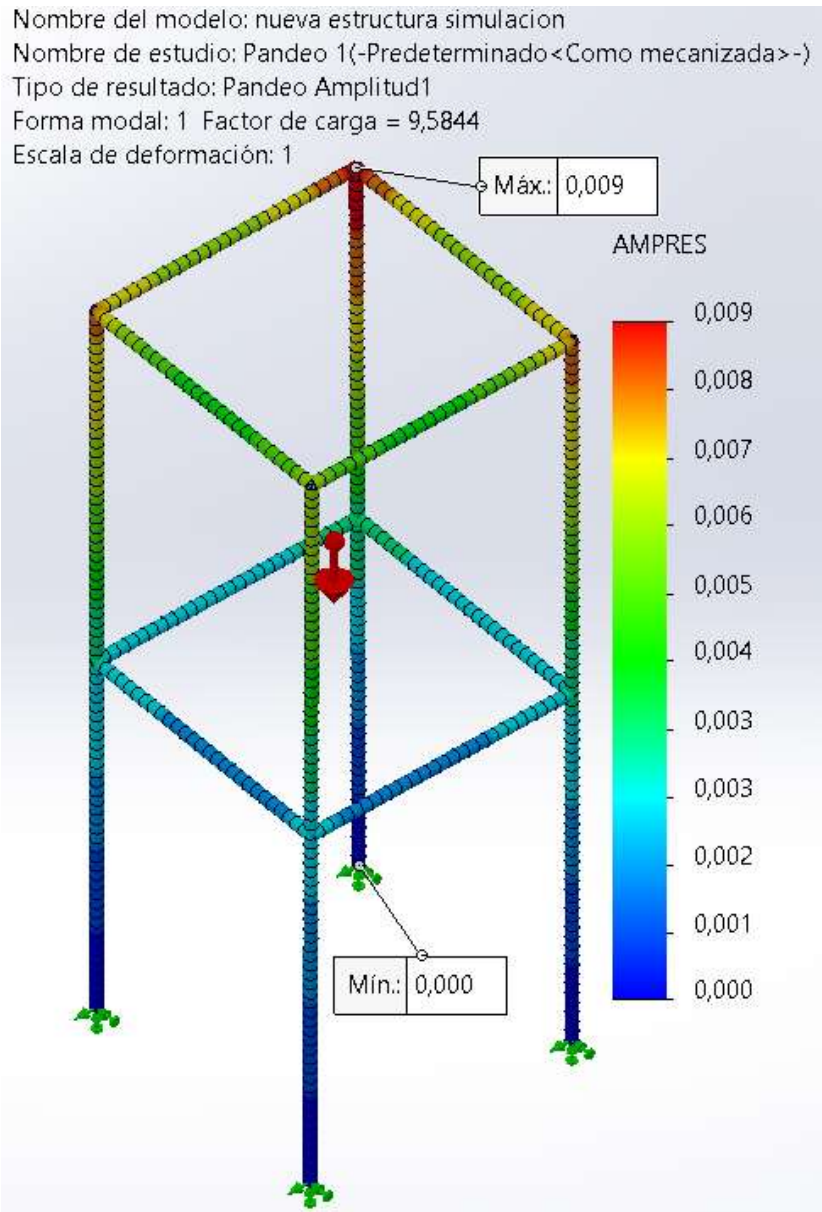


Figura 2-14: factor de carga pandeo

Fuente: Elaboración propia con SolidWorks

Este análisis sugiere que la estructura es relativamente estable, dado que el factor de carga es significativamente mayor que 1. Este valor indica el factor multiplicador de la carga aplicada que provocará el pandeo de la estructura en el primer modo de pandeo. Esto significa que la estructura comenzará a inestabilizarse por pandeo cuando la carga aplicada sea 9.5844 veces la carga actual que se está analizando.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

- Tras un análisis de los diversos tipos de ciclones disponibles en la industria, se concluye que el ciclón de entrada tangencial y descarga axial de alta eficiencia es el más adecuado para la aplicación específica de la extracción de polvo de ulexita en la línea de embolsado. Este tipo de ciclón ofrece una óptima separación de partículas finas, esencial para mantener la calidad del producto final y minimizar la pérdida de material valioso. Además, su diseño permite operar de manera eficiente bajo las condiciones de flujo y características del polvo de ulexita, asegurando un rendimiento consistente y una alta tasa de recuperación de partículas.
- Se han determinado las características esenciales del ciclón, incluyendo su tamaño, forma y ángulos críticos, que son fundamentales para su desempeño. El material seleccionado para la construcción del ciclón es el acero ASTM A36, debido a su combinación de buena resistencia estructural, ductilidad, y capacidad para ser soldado y formado. Este material es adecuado para soportar las condiciones operativas y las cargas que se presentarán durante el manejo del polvo de ulexita, garantizando tanto la durabilidad del equipo como la eficiencia en su desempeño.
- El desarrollo del modelo tridimensional en SolidWorks ha permitido visualizar y optimizar el diseño del ciclón antes de su fabricación. Este modelo incluye todos los componentes críticos del ciclón y ha sido validado mediante simulaciones para asegurar su funcionalidad y eficacia en la separación de partículas. Las simulaciones realizadas han mostrado que el diseño cumple con los requisitos técnicos y operativos

esperados, confirmando que el ciclón diseñado es capaz de manejar las cargas y flujos especificados sin comprometer su rendimiento.

- El análisis de viabilidad técnica ha demostrado que el ciclón diseñado es capaz de cumplir con los requisitos de rendimiento exigidos por la operación de la planta. Desde una perspectiva económica, la inversión en este equipo se justifica por los beneficios a largo plazo, como la reducción de pérdidas de material, menores costos de mantenimiento y la mejora en la calidad del producto final. Además, el costo inicial de fabricación y puesta en marcha del ciclón se ve compensado por la eficiencia operativa y la prolongada vida útil del equipo, lo que lo convierte en una inversión rentable para SOCOMAVK S.C.

3.2. RECOMENDACIONES

- Es esencial establecer un programa de monitoreo y mantenimiento continuo del ciclón para asegurar su óptimo funcionamiento. Inspecciones regulares y mantenimiento preventivo ayudarán a identificar y corregir cualquier problema antes de que afecte la eficiencia del sistema.
- Considerar la implementación de medidas complementarias, como sistemas de filtración adicionales o mejoras en la ventilación de la planta, para maximizar la reducción de partículas y mejorar aún más la calidad del aire.
- Mantenerse actualizado con los avances tecnológicos en sistemas de control de polvo y estar dispuesto a adoptar nuevas tecnologías que puedan ofrecer mejores resultados en términos de eficiencia y sostenibilidad.
- Se recomienda la instalación de un filtro de aire en baño de aceite con un prefiltro de ciclón en la salida superior del ciclón diseñado. Esta configuración mejorará la eficiencia de la filtración, reduciendo la cantidad de partículas que llegan al filtro de mangas y prolongando su vida útil

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, José Alberto Galicia. 2019. *Fluidización solido - liquido.* 2019.

American Welding Society. 2015. *Código de soldadura estructural- acero AWS D1.1/D1.1M:2015.* 2015. Vol. 23. 1.

—. **2007.** *Código de soldadura de acero inoxidable AWS D1.6/D1.6M:2007.* 2007. Vol. 2. 1.

Antecedentes de la empresa. **SOCCOMAVK S.C. 2021.** 6, 2021, Anuario 2019-2020, Vol. 4, pág. 70.

Carbonaro, Giulia. 2023. euro news. *El reto del bórax: la última tendencia nociva para la salud que se apodera de TikTok y por qué se debería evitar.* [En línea] 02 de Agosto de 2023. [Citado el: 03 de Junio de 2024.] <https://es.euronews.com/salud/2023/08/02/el-reto-del-borax-la-ultima-tendencia-nociva-para-la-salud-que-se-apodera-de-tiktok-y-por-#:~:text=Seg%C3%BAAn%20el%20Instituto%20Nacional%20de,tos%20y%20dificultad%20para%20respirar..>

CEIF. 208. Qué es la soldadura y cuántos tipos de soldadura existen. [En línea] 10 de Enero de 208. [Citado el: 23 de Junio de 2024.] <https://formacionceif.es/actualidad/que-es-la-soldadura-y-cuantos-tipos-de-soldadura-existen/>.

CLAFIL S.A. Filtro de mangas. *Manual de filtro de mangas.* s.l. : RINA.

Cuascota, William Omar González. 2018. *Diseño e implementación de un equipo separador de partículas sólidas (ciclón) en la industria del caucho.* 2018.

Daizo Kunii, Octave Levenspiel. 1991. *Fluidization Engineering.* s.l. : advisory, 1991. Vol. 2.

Diquimia. Tipos de separadores ciclonicos. [En línea] [Citado el: 21 de Marzo de 2024.] https://www.diquima.upm.es/old_diquima/Investigacion/proyectos/chevic/catalogo/CICLONES/Tipo6.htm.

Diseño optimo de ciclones. **Londoño1, Carlos Alberto Echeverri. 2006.** Medellín : s.n., 2006. 31.

Donaldson Company. 2024. Donaldson filtration solutions. [En línea] 2024. [Citado el: 18 de Marzo de 2024.] <https://www.donaldson.com/es-mx/industrial-dust-fume-mist/equipment/dust-collectors/cyclone/#:~:text=El%20aire%20con%20polvo%20ingresa,caen%20en%20el%20recept%C3%A1culo%20inferior..>

Eficiencia de colección del ciclón. **Londoño, Carlos Alberto Echeverri. 2006.** Medellín : s.n., 2006, Diseño optimo de ciclones, pág. 31.

EMISON. Ciclones.

Familias de ciclones. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. 2006. 9, 9 de Junio de 2006, Diseño optimo de ciclones, Vol. 5, pág. 18.

García, Darwin Antonio Pilay guerra & Leonardo Fabian Gavidia. 2020. Estudio y Diseño de un Ciclón para el Control de Partículas para una Empresa Productora de Libros en la ciudad de Guayaquil. *Proyecto Técnico previo a la obtención del título de Ingeniería Industrial.* Guayaquil : s.n., 2020, pág. 112.

GMdix. 2022. Aplicación Separadores Ciclónicos. [En línea] 12 de Enero de 2022. <https://gmdix.com/producto/ciclones/>.

—. **2022.** Separador ciclonico industrial. *Características tecnica.* [En línea] 12 de Enero de 2022. [Citado el: 21 de Marzo de 2024.] <https://gmdix.com/producto/ciclones/#:~:text=El%20separador%20cicl%C3%B3nic o%20utiliza%20su,en%20la%20base%20del%20cicl%C3%B3n..>

GMGA. 2017. Grupo de minerología. [En línea] 21 de Noviembre de 2017. [Citado el: 19 de Marzo de 2024.]

Grupo Acura. 2023. SMAW: La soldadura más popular en los tanques industriales. [En línea] 26 de Mayo de 2023. [Citado el: 23 de Junio de 2024.] <https://grupoacura.com/es/blog/smaw/>.

Grupo Ambiental GKL SAS. 2023. FILTROS DE MANGAS PARA MATERIAL PARTICULADO. [En línea] 11 de Junio de 2023. [Citado el: 21 de 06 de 2024.] <https://grupoambiental-gkl.webnode.com.co/filtros-de-mangas/>.

GSL Industrias. 2021. Extractor de aire industrial. [En línea] 21 de Septiembre de 2021. [Citado el: 20 de Marzo de 2024.] <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/extractor-de-aire-centrifugo-industrial>.

htpipe. 2022. ASTM A36. [En línea] 14 de 2 de 2022. [Citado el: 21 de Junio de 2024.] <https://www.htpipe.es/astm-a36.html>.

INDUCOM. 2020. Inducom Soluciones Industriales. *Comprender los Sistemas de colección de polvo de ciclón.* [En línea] 30 de Junio de 2020. <https://inducum.com.bo/comprender-los-sistemas-de-coleccion-de-polvo-de-ciclon/>.

INGENIERIA QUIMICA. 2014. Modelado y simulacion del funcionamiento de un separador ciclonico. [En línea] 4 de Marzo de 2014. [Citado el: 21 de Marzo de 2024.] <https://simulacionblog.wordpress.com/modelado-y-simulacion-del-funcionamiento-de-un-separador-ciclonico/>.

La razon. 2012. Procesadora de ulexita contamina un barrio orureño. [En línea] la razon, 25 de Octubre de 2012. [Citado el: 06 de Junio de 2024.] <https://www.la-razon.com/sociedad/2012/10/25/procesadora-de-ulexita-contamina-un-barrio-orureno/#:~:text=En%20Bolivia%20no%20se%20han,reci%C3%A9n%20nacidos%20e%20irritaciones%20respiratorias..>

MONTES. 2023. Montes technology & ecology. *Ciclon separador*. [En línea] 29 de Agosto de 2023. <https://www.montes.it/es-es/trattamento-aria/sistemi-di-filtrazione/ciclone-1>.

Poceso productivo y extractivo de la ulexita. **SOCOMAVK S.C. 2021.** 2021, Anuario 2019 - 2020, pág. 70.

Sánchez, Andrés Eugenio García. 2019. Repositorio institucional Unilibre. [En línea] 2019. [Citado el: 5 de Junio de 2024.] <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11938/discover>.

SISTEMAS CONTROL DE POLVO. VENTIUS. 2016. s.l. : Soluciones E2, 2016.

TIGER. 2024. Recubrimientos protectores contra la corrosión 101. [En línea] 2024. [Citado el: 22 de Febrero de 2024.] <https://www.tiger-coatings.com/mx-es/tiger-group/tiger-blog/proteccion-contra-la-corrosion-con-las-bases-primarias-de-pintura-en-polvo>.

UNE. 2017. *Esta parte de la Norma ISO 9606 especifica los requisitos para la prueba de cualificación de soldadores para el soldeo por fusión de aceros. ISO 9606-1:2012.* Madrid : s.n., 2017. 4.

WURTH. Electrodo E6013. [En línea] [Citado el: 05 de Junio de 2024.] <https://wurth.com.do/wp-content/uploads/files/00982601032.pdf>.

ANEXOS

ANEXO 1: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO

Tabla A-1: Especificaciones técnicas del ciclón colector de polvo

Descripción	Dimensión mm	Material
Altura de entrada al ciclón	566	ASTM A36
Ancho de entrada al ciclón	226	ASTM A36
Altura de salida del ciclón	566	ASTM A36
Diámetro de salida del ciclón	556	ASTM A36
Diámetro salida del polvo	424	ASTM A36
Altura parte cilíndrica del ciclón	1697	ASTM A36
Altura parte cónica del ciclón	2828	ASTM A36
Altura del ciclón	4525	ASTM A36
Estructura de soporte	3700	ASTM A36
Altura total del ciclón más estructura	4928	ASTM A36
Alta eficiencia 88,7%		
Peso del ciclón 397.72 Kg		
Peso de la estructura 139.92Kg		
Peso total 417.64 kg		

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2: COSTOS DE FABRICACIÓN

Tabla A-2: Presupuesto de construcción

CICLON COLECTOR DE POLVO
PRECIOS UNITARIOS

Proyecto: CICLON COLECTOR DE POLVO PRESUPUESTO DE CONSTRUCCION	FECHA: 24/08/24 Tipo de cambio Unidad:	6,96
---	--	------

COMPONENTE DE PRECIO UNITARIO	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO Bs.	UNITARIO \$US.	PARCIAL Bs.	PARCIAL \$US.
A. MATERIALES					9.601,00	1.379,45
PLANCHA DE ACERO ASTM A36 1.5X3X3	PZA.	8	995,0	142,96	7960,00	1143,68
ACERO ANGULAR ASTM A36 60X60X5	PZA.	6	154,0	22,13	924,00	132,76
PERNOS 16MM	PZA.	44,00	3,0	0,43	132,00	18,97
ELECTRODO 6013	KG	2,00	65,0	9,34	130,00	18,68
PINTURA ANTICORROSIVA	PZA.	1,00	135,0	19,40	135,00	19,40
ACERO ANGULAR ASTM A36 50X50X5	PZA.	2,00	140,0	20,11	280,00	40,23
PERNOS 12MM	PZA.	16,00	2,5	0,36	40,00	5,75
B. MANO DE OBRA					3.118,08	448,00
INGENIERO JUNIOR	HR	20,0	118,3	17,000	2366,40	340,00
SOLDADOR	HR	40,0	18,8	2,700	751,68	108,00
C. EQUIPO Y MAQUINARIA					320,16	46,00
ESTUCHE DE HERRAMIENTAS	HR	40,0	2,8	0,400	111,36	16,00
SOLDADORA DE ARCO ELECTRICO	HR	40,0	5,2	0,750	208,80	30,00

D. Herramientas Menores	5% de H	480,1	69,0
E. Beneficios sociales	55% de F	1800,7	258,7
F. Mano de Obra Indirecta	5% de B	155,9	22,4
G. Total Materiales	(A)	9601,0	1379,5
H. Total Mano de Obra	(B+F)	3274,0	470,4
I. Total Equipo	(C+D)	800,2	115,0
J. Parcial Item	(G+H+I)	13675,2	1964,8
K. Gastos Generales	10% (J)	1367,5	196,5
L. Utilidad	10% (J)	1367,5	196,5
M. Subtotal:	(E+J+K+L+N)	19459,1	2795,8
N. IVA:	13,0% de (M)	1248,1	179,3
O. I.T	3,0 % de (M)	583,8	83,9
IU:	25% de L	341,9	49,1
TOTAL ITEM		21632,8	3108,2

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3: EVALUACIÓN ECONÓMICA

Realizando comparaciones similares con ciclones industriales en el mercado internacional, los mencionados ciclones están por encima de los 4 mil dólares sin mencionar el costo de transporte y los impuestos que se debe pagar en la aduana boliviana. según el régimen arancelario aduanero de importaciones vigente en Bolivia, los costos de Gravamen ascienden un 10% del costo del equipo, elevando el precio del ciclón significativamente.

Por lo tanto, el ciclón diseñado exclusivamente para la línea de embolsado sería técnicamente factible para la fabricación dentro de la empresa.

ANEXO 4: CUADROS, TABLAS E INFORMACIÓN QUE SE QUIERA DETALLA



[←](#)
[📷](#)
[👤](#)
[🏠](#)
[📄](#)
[📺](#)
[📱](#)
[📺](#)
[📱](#)
[➤](#)

Favoritos:
 Compartir [f](#) [x](#) [p](#) [in](#) [e](#)

Filtro de ciclón separador ciclón hechas de acero al carbono 5000 cfm

Precio FOB de Referencia / Cantidad de Compra. [Conseguir Precio Último >](#)

US\$ 4.000,00	US\$ 1.000,00
1-4 Conjuntos	5+ Conjuntos

Certification:	CE, ISO
Installation Method:	Horizontal
Operation Type:	Automatic
Medium Material:	Natural Fiber
Dust Collecting Method:	Dry
Type:	Cyclone Dust Collector

Descripción de Producto	Información de la Compañía		
Información Básica.			
No. de Modelo.	cyclone	flujo de aire	750-13500m3/H
eficiencia	85-99%	resistencia	39-90kg/M2
granulario	1-3um	velocidad del aire	12-25m/S
altura	1380-4545mm	Paquete de Transporte	Steel Frame
Especificación	customized	Marca Comercial	JY
Origen	China Mainland	Código del HS	8421392990
Capacidad de Producción	2000sets/Year		

Figura A-1: Precio y características de ciclón separador de partículas
Fuente: https://es.made-in-china.com/co_everluckymachinery/product_Cyclone-Filter-Cyclone-Separator-Made-of-Carbon-Steel-5000cfm_uoisgeuiyg.html

Tabla A-3: Parámetros de diseño de fabricación de la empresa Botou Ever Lucky Machinery Co., Ltd.

Número	El flujo de aire M3/h	Resistencia kg/m ²		La eficiencia %	Dimensiones L x W x H)mm		El peso Kg	
		X	Y.		X	Y.	X	Y.
XLP/A-3.0	750-1060	45-90	39-79	85-99	406×390×6125	460×390×1380	57	43
XLP/A-4.2	1460-2060				556×545×2177	556×545×1880	99	80
XLP/A-5.2	2280-3230				711×700×2701	771×700×2701	165	128
XLP/A-7.0	4020-5700				911×910×3489	911×910×3040	265	213
A-8.2/XLP	5500-7790				1071×1605×4050	1071×1605×3540	364	293
A-9.4/XLP	7520-10650				1226×1222×4616	1226×1222×4050	473	384
/-10.6 XLP	9520-13500				1376×1337×5157	1376×1337×4545	631	483

Fuente: https://es.made-in-china.com/co_everluckymachinery/product_Cyclone-Filter-Cyclone-Separator-Made-of-Carbon-Steel-5000cfm_uoisgeuiyq.html

Tabla A-4: Parámetros de diseño de fabricación de la empresa Hebei Jiutai Environmental Protection Equipment Co., Ltd.

Cyclone dust collector specification table				
Model	Air volume (m3/h)	Equipment Size(mm)	Plate thickness (mm)	Equipment weight (kg)
JT-1	2500	Φ 550*2100mm	General 3mm	400-700
JT-2	3500	Φ 620*2100mm		
JT-3	4500	Φ 750*2800mm		
JT-4	6000	Φ 800*2900mm		
JT-5	8000	Φ 950*3600mm		
JT-6	10000	Φ 1050*3700mm		
JT-7	12000	Φ 1200*4500mm		
JT-8	15000	Φ 1300*4600mm		
JT-9	20000	Φ 1500*5200mm		
JT-10	30000	Φ 1800*4000mm		

Fuente: <https://m.alibaba.com/x/AxMfli?ck=pdp>

Tabla A-5: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Tabla de propiedades mecánicas		
Propiedades mecánicas		Notas
Resistencia a la tracción, MPa (ksi)	400-550 (58-80)	Placas de acero, formas y barras
Límite elástico (Esfuerzo de fluencia, MPa (ksi)) \geq	250 (36)	Espesor \leq 200mm (8 pulg.)
	220 (32)	Espesor de placas de acero $>$ 200mm (8 pulg.)
Elongación, %, \geq	20	Placas y barras en 200 mm (8 pulg.)
	23	Placas y barras en 50 mm (2 pulg.)
Dureza Brinell, HBW	119-162	Basado en la conversión de resistencia a la tracción
Módulo de elasticidad, GPa (ksi)	200 (29 \times 10 ³)	-
Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J (ft-lbf), \geq	27 (20)	Formas estructurales, ubicación alternativa del núcleo
Módulo de corte, GPa (ksi)	79.3 (11.5 \times 10 ³)	-
Fy del acero A36 (límite de fluencia), MPa (ksi), \geq	250 (36)	-

Fuente: <https://panelyacanalados.com/blog/acero-a-36-propiedades-y-usos/>

PLANCHAS DE ACERO ASTM A36, ASTM A6 LAMINADA EN CALIENTE LAC



* Imagen referencial

Material: ASTM A36.
Tolerancias: ASTM A6.

Anchos de 4' (1200 mm), 5' (1500 mm) y 10' (3000 mm).
Largos de 8' (2400 mm) y 10' (3000 mm) y 20' (6000 mm).

Se mide en espesor x ancho x largo.

TOLERANCIAS EN ESPESOR ASTM A6

Espesor Especificado	Variaciones permitidas sobre el espesor especificado para anchos							
	Sobre 1200 hasta 1500, excl		Sobre 1500 hasta 1800, excl		Sobre 2400 hasta 2700, excl		Sobre 3000 hasta 3300, excl	
pulg (mm)	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm
Hasta 1/4 [6], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76
1/4 [6] hasta 5/16 [8], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02
5/16 [8] hasta 3/8 [9], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02
3/8 [9] hasta 7/16 [11], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02
7/16 [11] hasta 1/2 [12], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02
1/2 [12] hasta 5/8 [16], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02
5/8 [16] hasta 3/4 [19], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02	0.04	1.02
3/4 [19] hasta 1 [25], excl	0.03	0.76	0.03	0.76	0.04	1.02	0.05	1.27
1 [25] hasta 2 [50], excl	0.06	1.52	0.06	1.52	0.07	1.78	0.10	2.54
2 [50] hasta 3 [75], excl	0.09	2.29	0.09	2.29	0.11	2.79	0.13	3.30
3 [75] hasta 4 [100], excl	0.11	2.79	0.11	2.79	0.13	3.30	0.14	3.56

Variación permitida bajo el espesor especificado, 0,01 pulg.[0,25 mm]

Espesor		Ancho		Largo		Peso Teórico
mm	pulg	mm	pie	mm	pie	Kg/plancha
1.5	1/16"	1200	4	2400	8	33.91
2.0	5/64"	1200	4	2400	8	44.05
2.5	3/32"	1200	4	2400	8	55.55
2.9	1/8"	1200	4	2400	8	67.08
3.0	1/8"	1200	4	2400	8	67.08
		1500	5	3000	10	109.2
4.4	3/16"	1200	4	2400	8	99.48
		1200	4	2400	8	100.50
4.5	3/16"	1500	5	3000	10	154.5
		1500	5	6000	20	423.90
5.9	1/4"	1200	4	2400	8	133.39
		1200	4	2400	8	134.81
		1500	5	3000	10	212.00
6.0	1/4"	1500	5	6000	20	423.90
		3000	10	12000	40	1695.60
		1200	4	2400	8	178.34
7.9	5/16"	1200	4	2400	8	180.60
		1500	5	6000	20	565.20
8.0	5/16"	2400	8	6000	20	904.32
		1200	4	2400	8	201.00
8.9	3/8"	1200	4	2400	8	203.26
		1500	5	3000	10	318.00
		1500	5	6000	20	635.85
9.0	3/8"	2400	8	6000	20	10173.36
		1200	4	2400	8	278
		1200	4	2400	8	279.90
		1500	5	3000	10	424.00
11.9	1/2"	1500	5	6000	20	847.80
		2400	8	6000	20	1356.48
		3000	10	6000	20	1695.60
		1200	4	2400	8	363.74
16	5/8"	1500	5	6000	20	1130.40
		2400	8	6000	20	1808.64
		3000	10	6000	20	2260.80
19	3/4"	1200	4	2400	8	433.60
		1500	5	3000	10	671.175
		1500	5	6000	20	1342.35
		2400	8	6000	20	2147.76
25	1"	3000	10	6000	20	2684.70
		1500	5	6000	20	1766.25
		2400	8	6000	20	2826.00
32	1 1/4"	3000	10	6000	20	3532.50
		1500	5	6000	20	2260.80
38	1 1/2"	2400	8	6000	20	3617.28
		3000	10	6000	20	4521.60
		1500	5	6000	20	2684.70
50	2"	2400	8	6000	20	4295.52
		3000	10	6000	20	5369.40
		1500	5	6000	20	3532.50
50	2"	2400	8	6000	20	5652.00
		3000	10	6000	20	7065.00

* Equivalencias de conversión son aproximadas.

Figura A-2: Ficha técnica acero ASTM A36

Fuente: <https://www.fiorellarepre.com.pe/PLANCHA-ACERO-A-36/605020>



Figura A-3: Planta de calcinación SOCCOMAVK S.C.
Fuente: SOCCOMAVK S.C.



Figura A-4: Contaminación por el polvo dentro de la planta
Fuente: SOCCOMAVK S.C.


















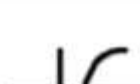








Figura A-5: Área de Calcinación de la planta
Fuente: SOCCOMAVK S.C.



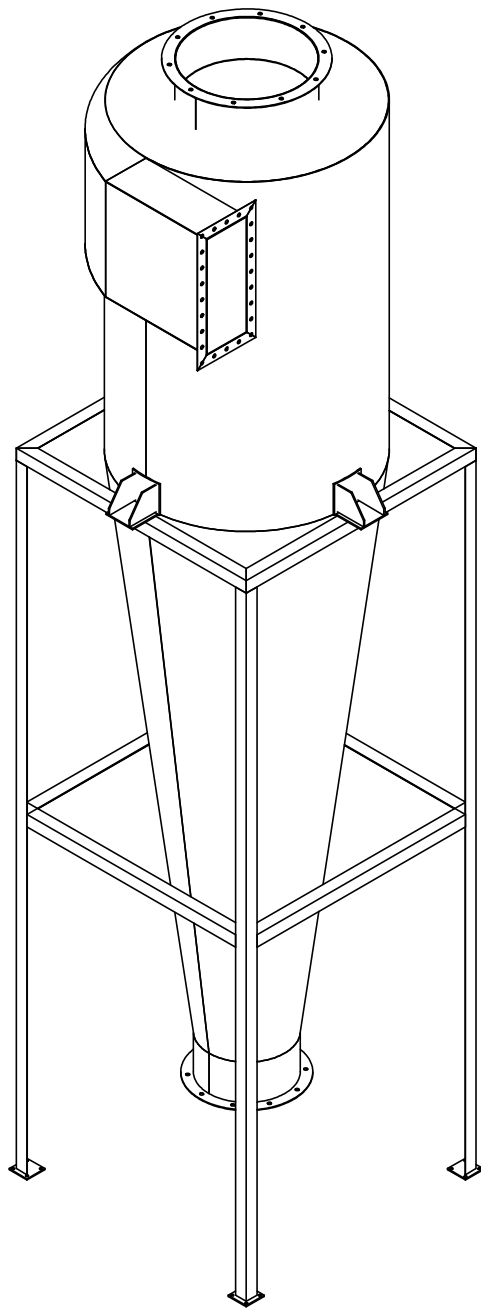
Figura A-6: Área de embolsado de la planta de calcinación
Fuente: SOCCOMAVK S.C.



Tabla A-6: Símbolos elementales de soldadura

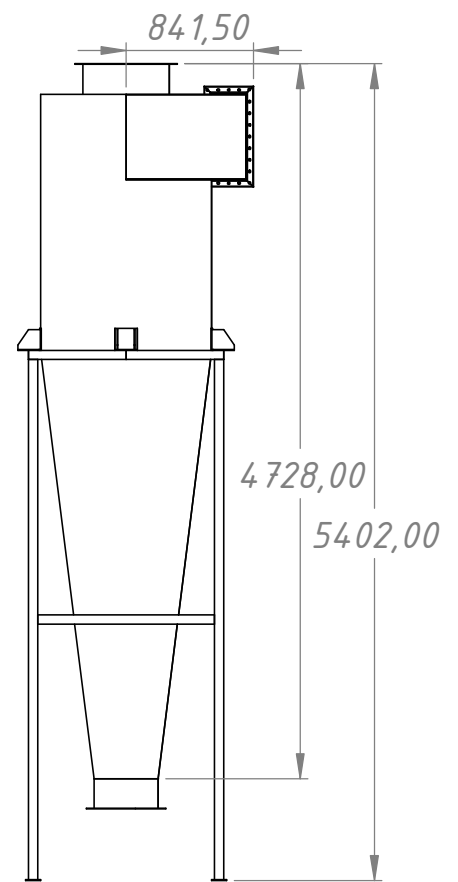
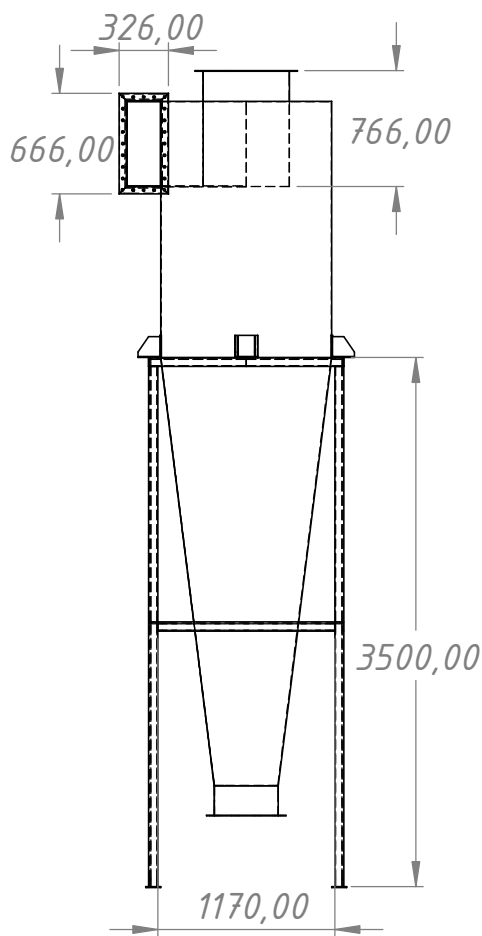
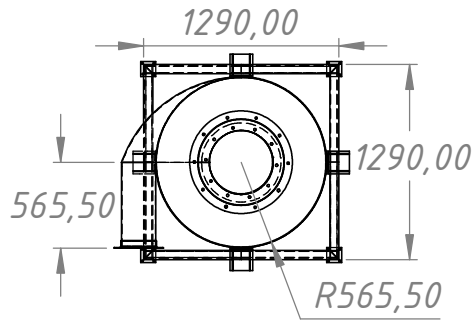
Nº	Designación	Representación	Símbolo
1	Soldadura a tope con los flancos rectos		
2	Soldadura a tope en V simple		
3	Soldadura a tope en V simple con talón de raíz amplio		
4	Soldadura a tope en bisel simple		
5	Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio		
6	Soldadura a tope en U simple		
7	Soldadura a tope en J simple		
8	Soldadura con bisel doble redondeado		
9	Soldadura con bisel redondeado		
10	Soldadura en ángulo		
11	Soldadura de tapón (en ojal o botón)		
12	Punto de resistencia (incluyendo el soldo por protuberancias en el sistema A)		



Fuente: <https://es.slideshare.net/slideshow/simbologia-soldaduras-une/239851910>

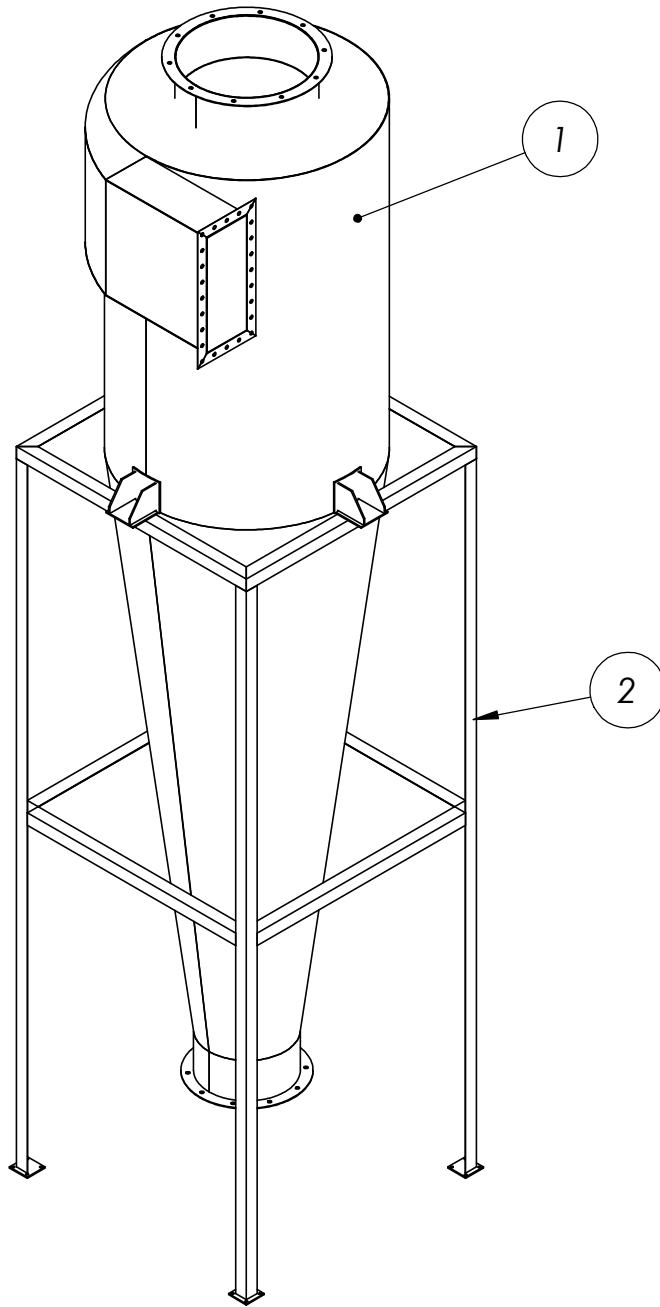
ANEXO 5: PLANOS DE DISEÑO DEL EQUIPO



<i>Observaciones:</i>	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>CICLÓN INDUSTRIAL</i>		
	<i>Dib.</i>	06/24			Mamani. R
	<i>Rev.</i>				
	<i>Apr.</i>				
<i>Esc.</i>	1:30	<i>ENSAMBLE GENERAL</i>		<i>Cliente:</i>	
				<i>SOCOMAVK S.C</i>	
<i>Toler.</i>				<i>Material:</i>	
<i>Rug.</i>			<i>ASTM A36</i>	<i>Nº de Plano:</i>	
				<i>1/27</i>	

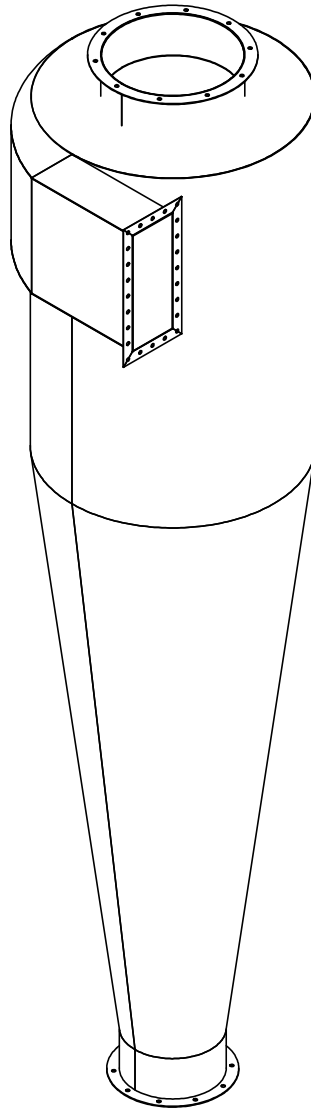




Observaciones:	Dib.	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MEGA - ELECTRONICAS U.M.P.S.F.I.C.H.
	Rev.	06/24	Mamani. R		
	Apr.				
	Esc.	1:50			
	Toler. Rug.				
ENSAMBLE GENERAL VISTAS				Cliente: SOCCOMAVK S.C	
				Material:	ASTM A36
				N°de Plano:	2/27

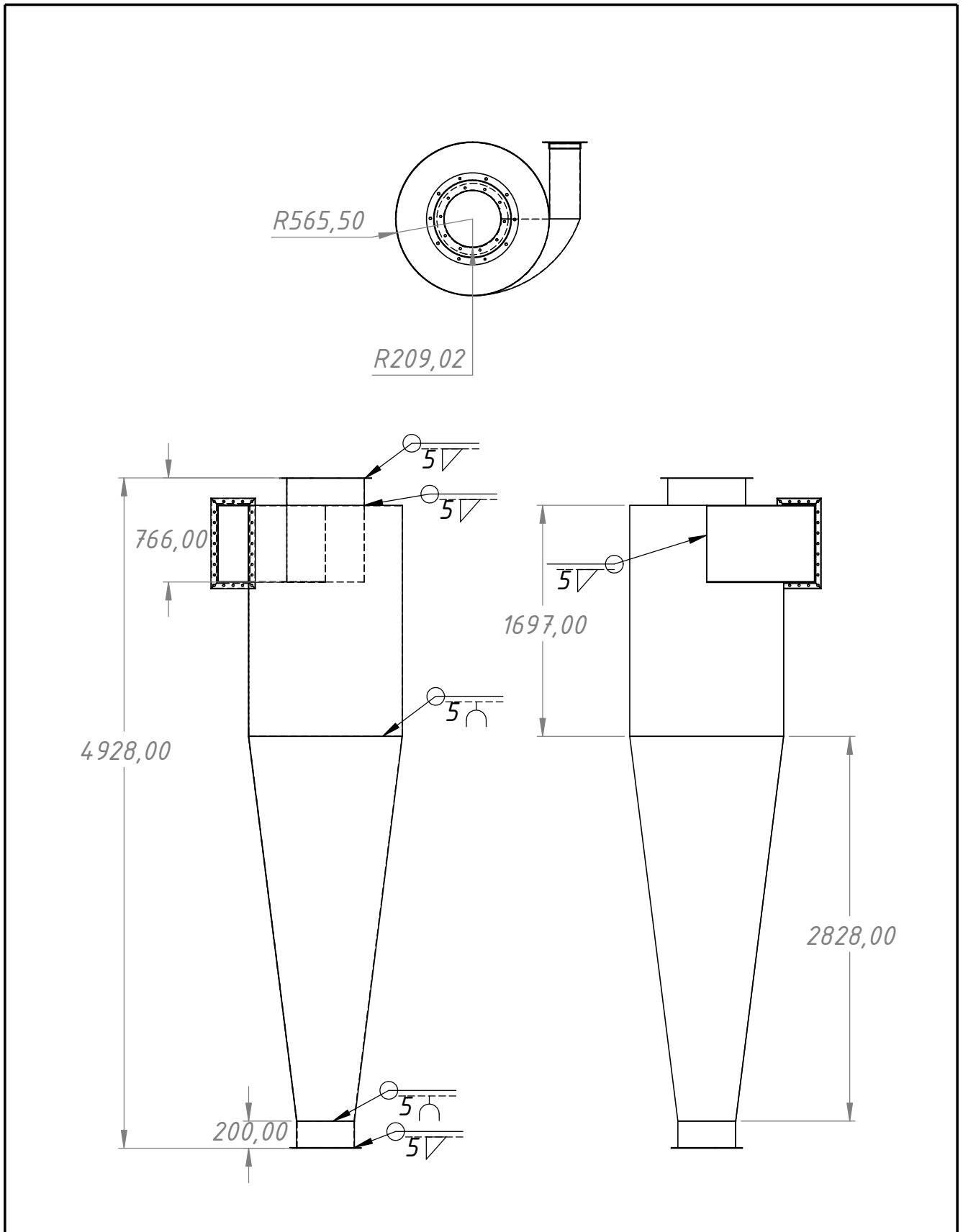


Nro DE ELEMENTO	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	Ciclón	1
2	Estructura de soporte	1

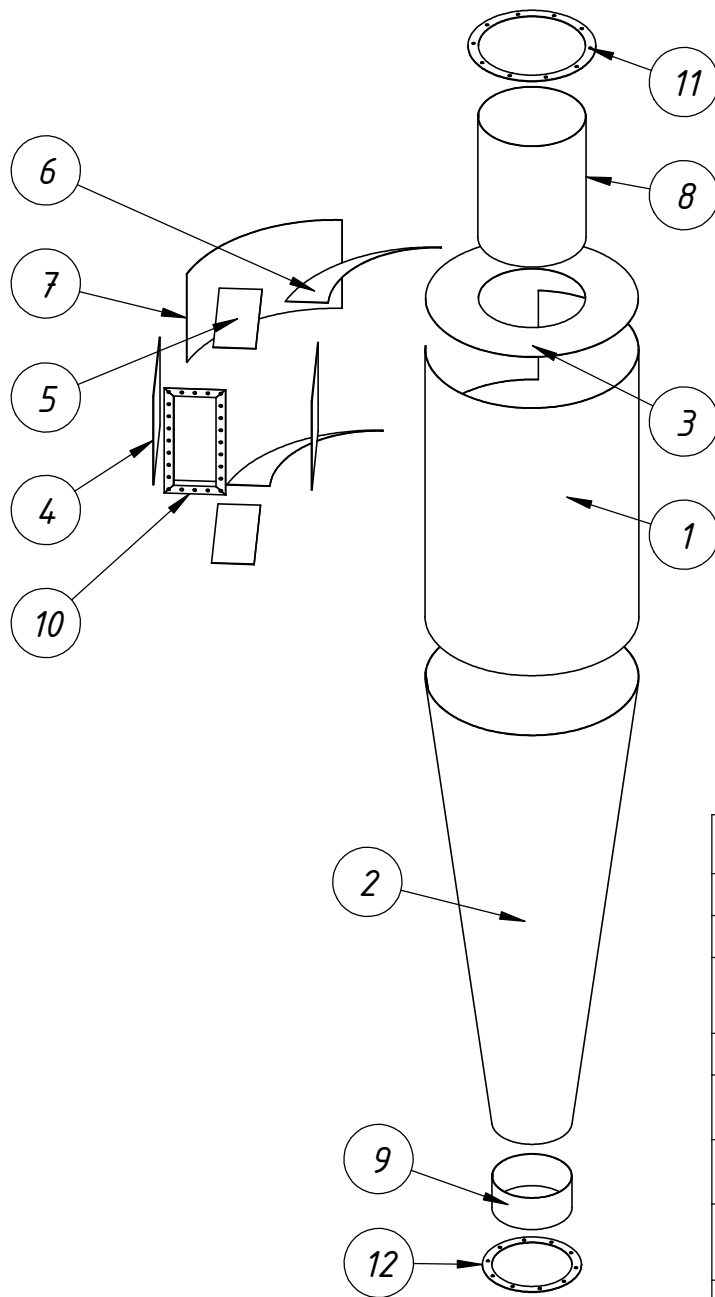
Observaciones:	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL			
	Dib.	06/24			Mamani. R	
	Rev.					
	Apr.					
	Esc.	1:30				
			Cliente: SOCCOMAVK S.C			
Toler.	ENSAMBLE GENERAL DESCRIPCIÓN				Material:	ASTM A36
Rug.					N° de Plano:	3/27



Observaciones:		Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.	06/24	Mamani. R		
	Rev.				
	Apr.				
	Esc.	1:30	CICLÓN		
		SOCOMAVK S.C			
Toler.		Material:			
Rug.			ASTM A36		
				N° de Plano:	4/27

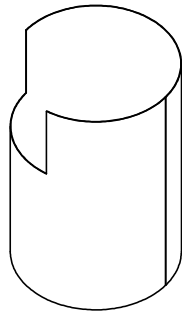


Observaciones:	Fecha	06/24	Nombre	Mamani. R	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.					
	Rev.					
	Apr.					
	Esc.	1:40	CICLÓN VISTAS			
Toler.		Material:			ASTM A36	
Rug.		N° de Plano:			5/27	

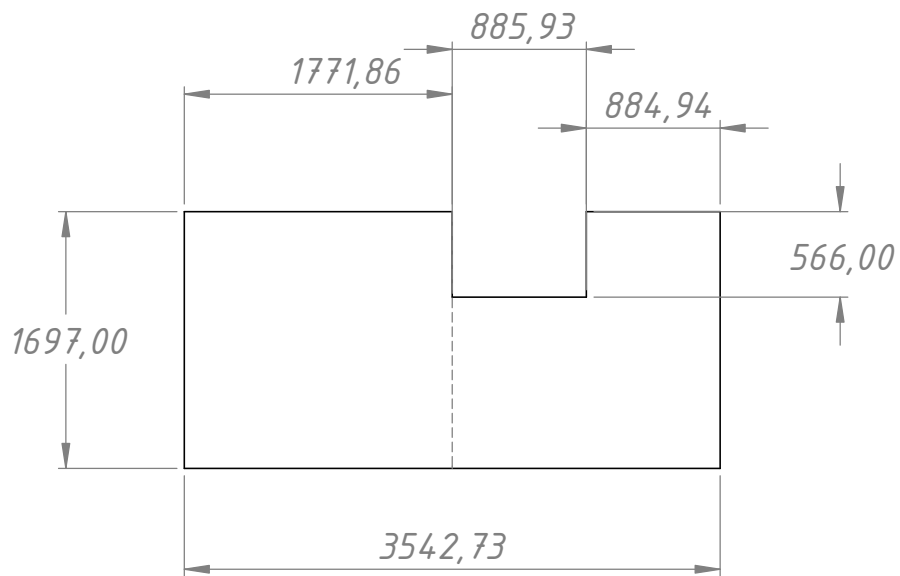
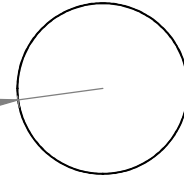


N° DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cilindro exterior	1
2	Cilindro cónico	1
3	Chapa circular superior	1
4	Chapa lateral	2
5	Chapa rectangular superior e inferior	2
6	Chapa curva superior e inferior	2
7	Chapa curva lateral	1
8	Cilindro interior	1
9	Cilindro salida inferior	1
10	Brida rectangular	1
11	Brida superior circular	1
12	Brida inferior circular	1

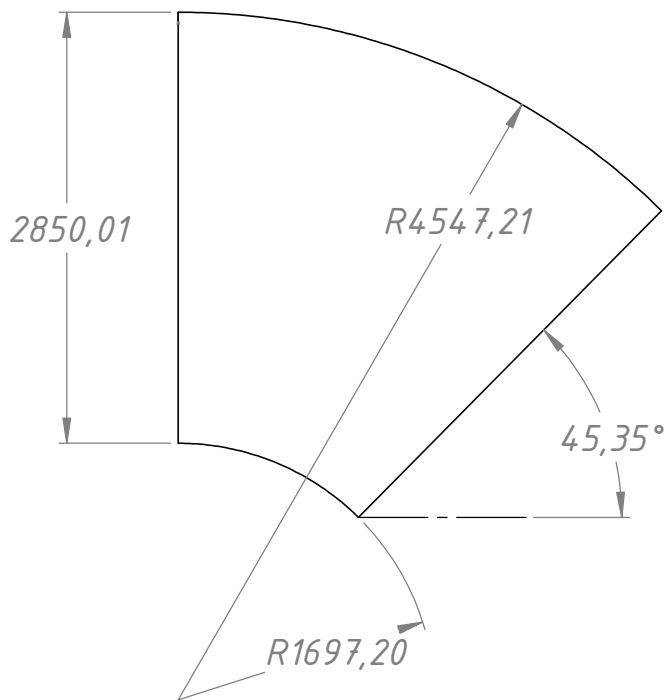
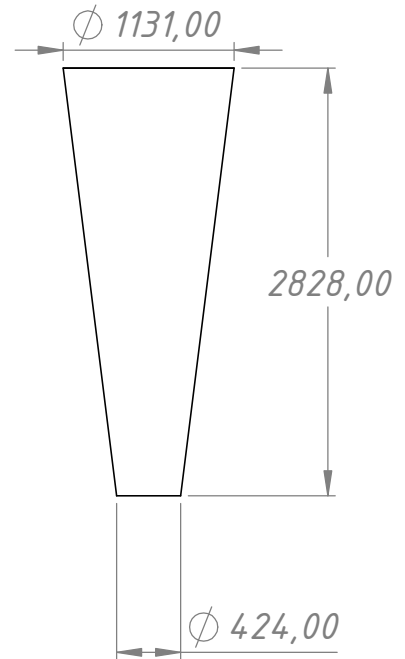
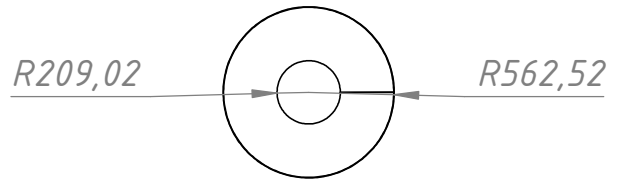
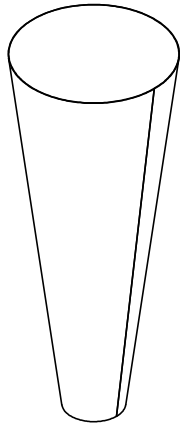
Observaciones:	Fecha	06/24	Nombre	Mamani. R	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.					
	Rev.					
	Apr.					
	Esc.	1:40				
					CICLÓN VISTA EXPLOSIONADA	Cliente: SOCCOMAVK S.C
Toler.					Material:	ASTM A36
Rug.					N° de Plano:	6/27



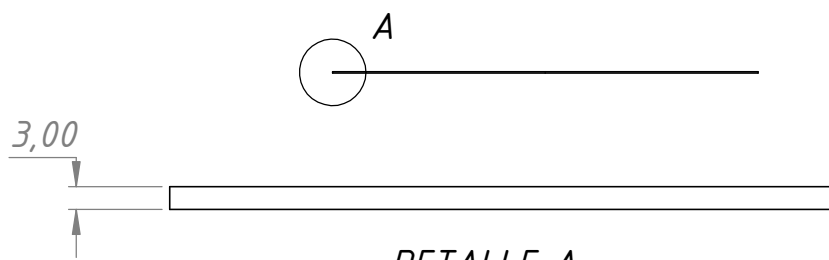
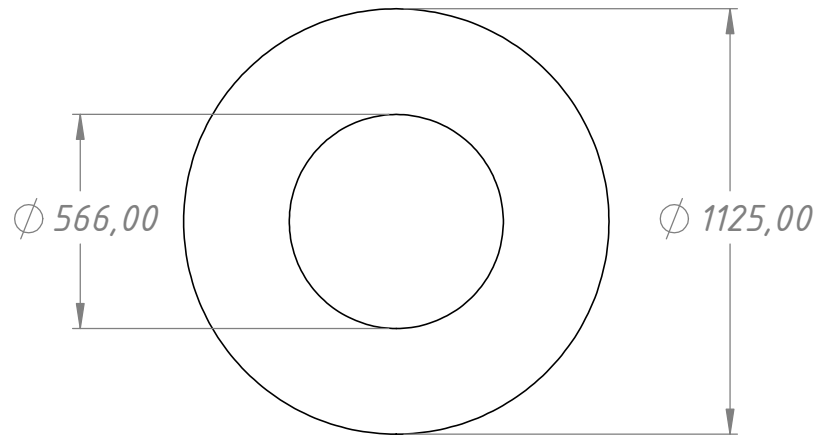
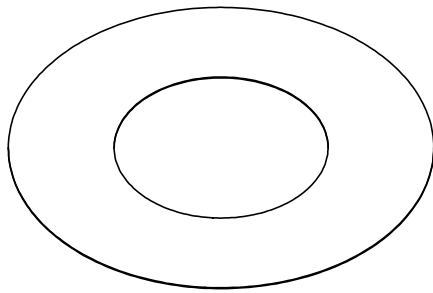
$R565,50$





Observaciones:	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.	Mamani. R		
	Rev.			
	Apr.			
	Esc.	1:50		
			Cliente: SOCCOMAVK S.C	
Toler.	CILINDRO EXTERIOR		Material: ASTM A36	
Rug.			N° de Plano: 7/27	

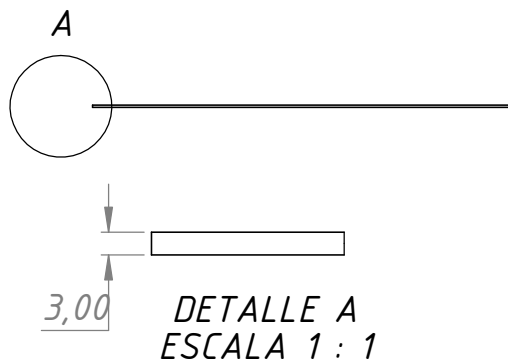
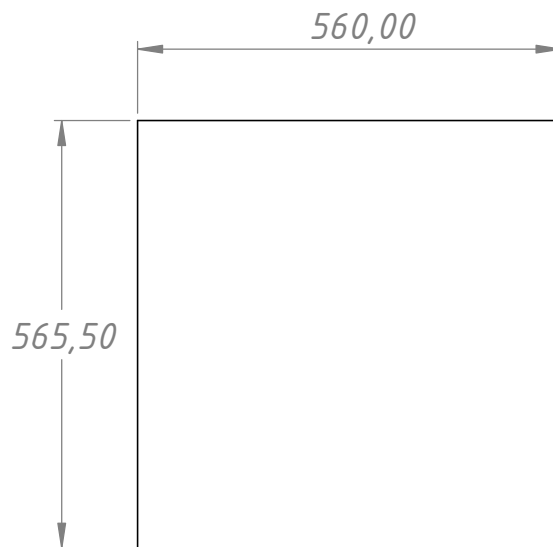
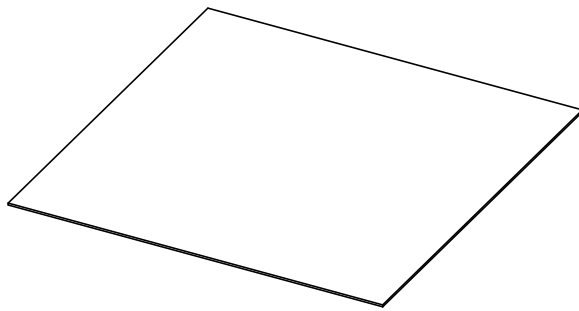


Observaciones:	Fecha	22/24	Nombre	Mamani. R	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.					
	Rev.					
	Apr.					
	Esc.	1:50				
				CILINDRO CONICO	Cliente: SOCCOMAVK S.C	
Toler.				Material:	ASTM A36	
Rug.				N° de Plano:	8/27	

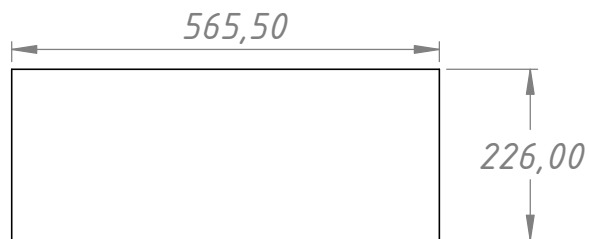
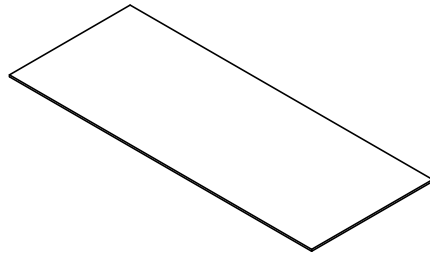


DETALLE A
ESCALA 1 : 1

Observaciones:	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.	Mamani. R		
	Rev.			
	Apr.			
	Esc.	1:20		
		SOCOMAVK S.C		
Toler.		Material:		
Rug.			ASTM A36	
			N°de Plano:	9/27

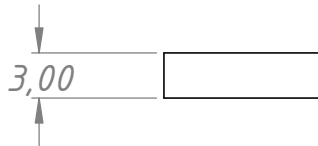
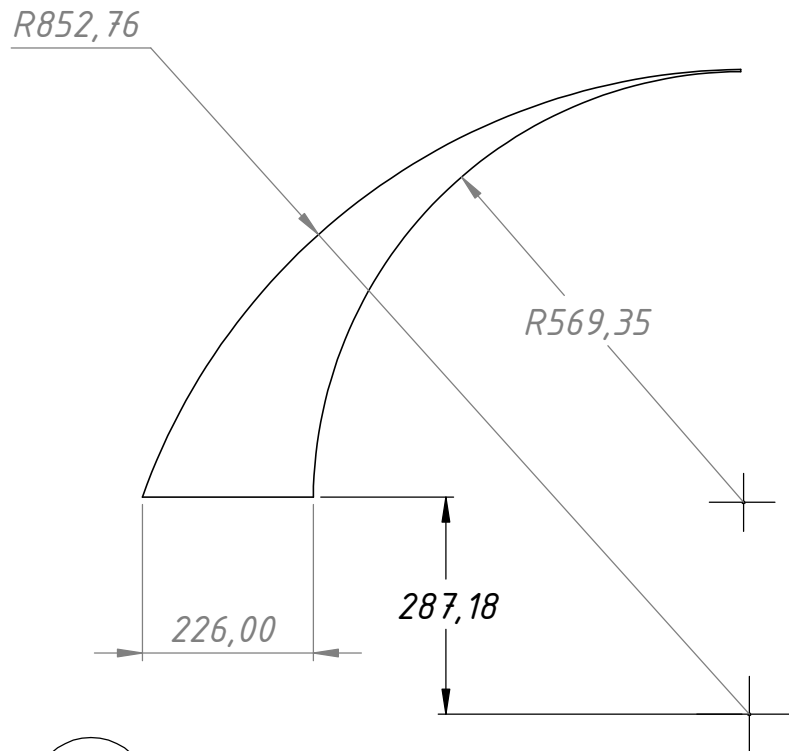


<i>Observaciones:</i>	<i>Fecha</i>	06/24	<i>Nombre</i>	Mamani. R	<i>CICLÓN INDUSTRIAL</i>	
	<i>Dib.</i>					
	<i>Rev.</i>					
	<i>Apr.</i>					
	<i>Esc.</i>	1:10	<i>CHAPA CIRCULAR SUPERIOR</i>			
		<i>Material:</i>			ASTM A36	
<i>Toler.</i> <i>Rug.</i>		<i>N° de Plano:</i>			10/27	



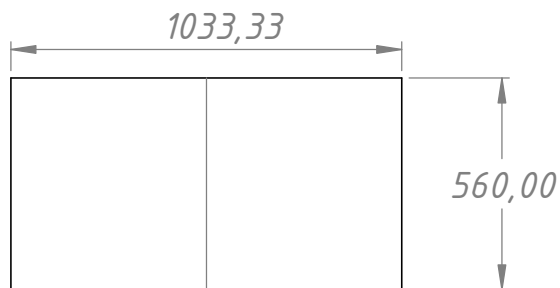
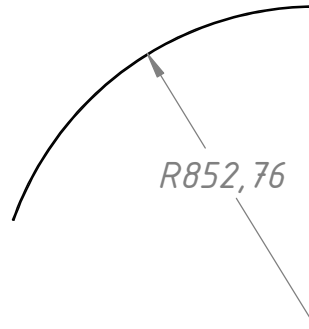
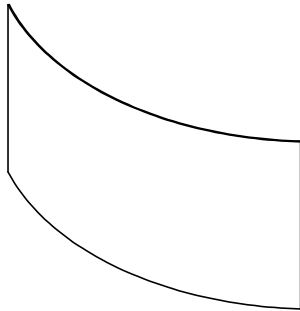
DETALLE B
ESCALA 2 : 1



Observaciones:	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.	Mamani. R		
	Rev.			
	Apr.			
	Esc.	1:10		
		Material: ASTM A36		
Toler. Rug.		N°de Plano: 11/27		

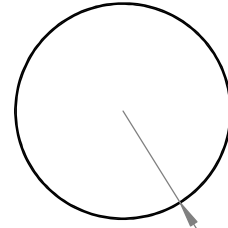
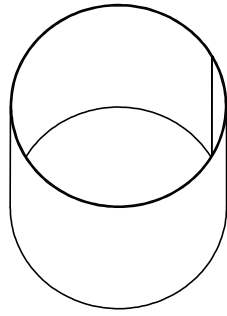


DETALLE A
ESCALA 2 : 1

Observaciones:	Dib.	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL		
	Rev.	06/24	Mamani. R			
	Apr.					
	Esc.					
	1:10					
		<p>CHAPA CURVA SUPERIOR E INFERIOR</p>			<p>Cliente:</p> <p>SOCCOMAVK S.C</p>	
Toler.					Material:	ASTM A36
Rug.					N° de Plano:	12/27



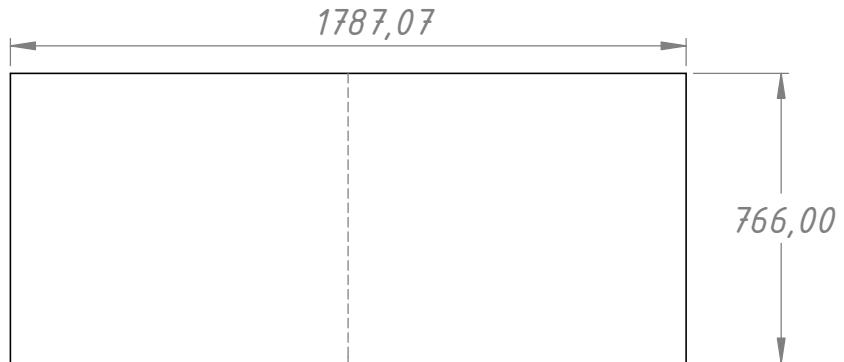
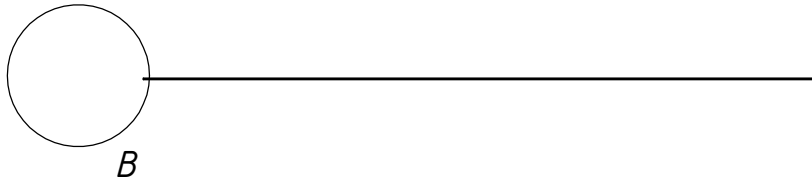
Observaciones:		Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.	06/24	Mamani. R		
	Rev.				
	Apr.				
	Esc.	1:20			
			SOCOMAVK S.C		
Toler.			Material:		
Rug.			ASTM A36		
					N°de Plano:
					13/27



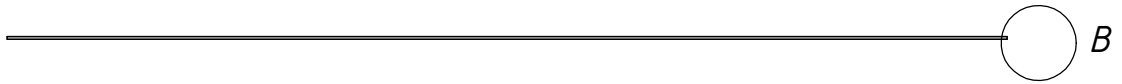
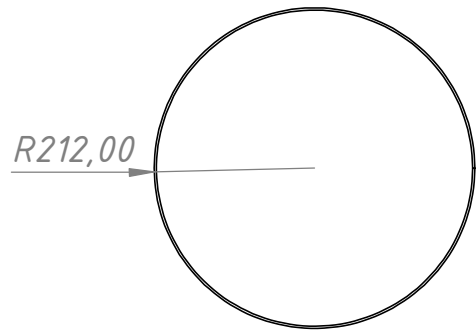
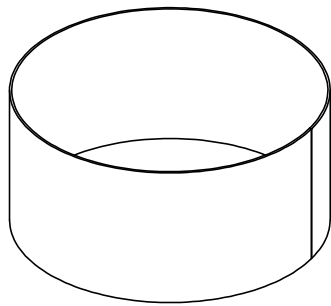
R286,00



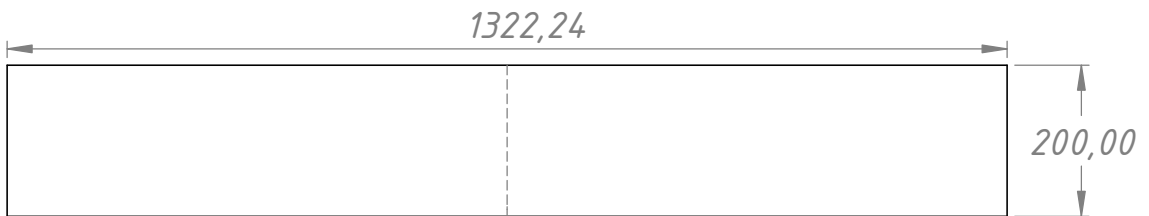
DETALLE B
ESCALA 2 : 1





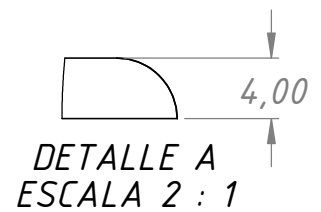
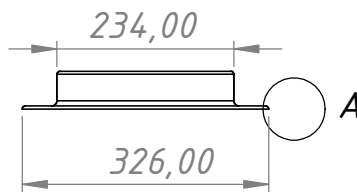
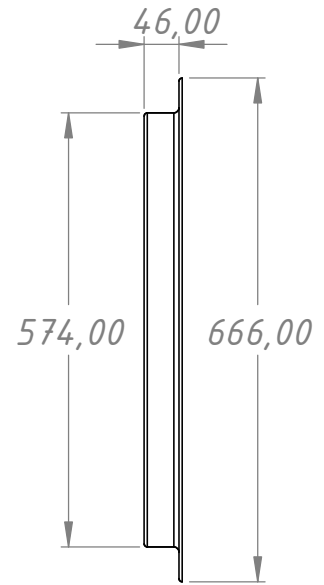
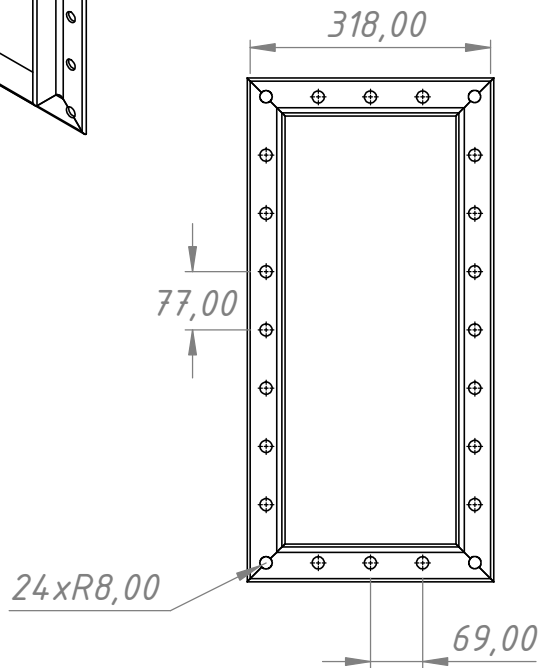
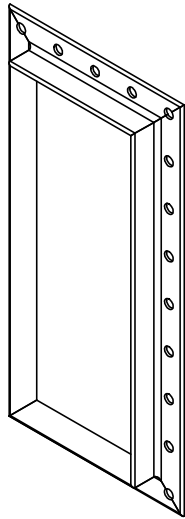
Observaciones:	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.	Mamani. R		
	Rev.			
	Apr.			
	Esc.			
	1:20	Cilindro salida superior		Ciente:
				SOCOMAVK S.C
Toler.				Material:
Rug.				ASTM A36
			N°de Plano:	14/27



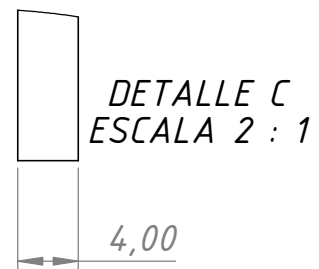
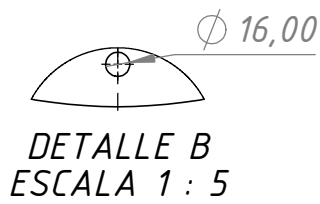
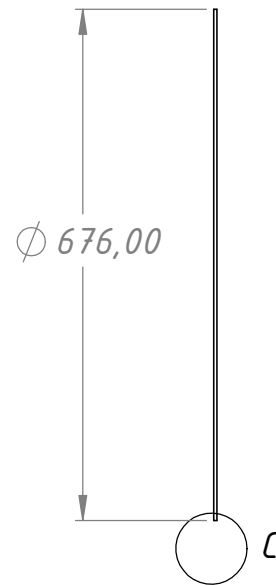
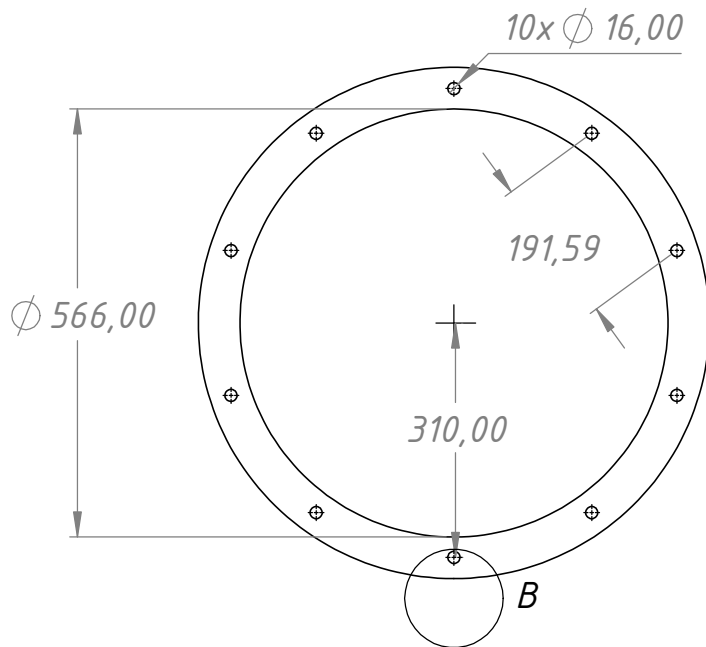
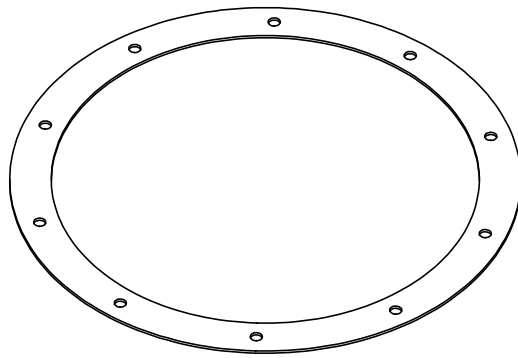
DETALLE B
ESCALA 2 : 1



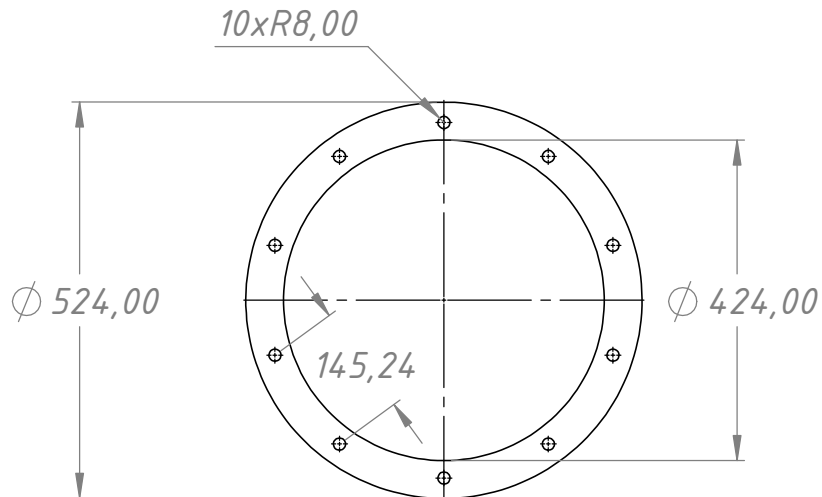
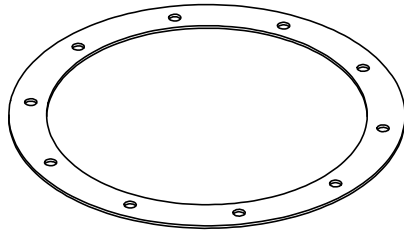
Observaciones:	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MEGA - ELECTRONICAS U.M.P.S.F.I.C.H.	
	Dib.	06/24			Mamani. R
	Rev.				
	Apr.				
	Esc.	1:10			
			CILINDRO SALIDA INFERIOR	Cliente: SOCCOMAVK S.C	
Toler.			Material:	ASTM A36	
Rug.			N°de Plano:	15/27	



Observaciones:	Fecha	06/24	Nombre	Mamani. R	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.					
	Rev.					
	Apr.					
	Esc.	1:10	BRIDA DE ENTRADA			
		Material:			ASTM A36	
Toler. Rug.		N° de Plano:			16/27	

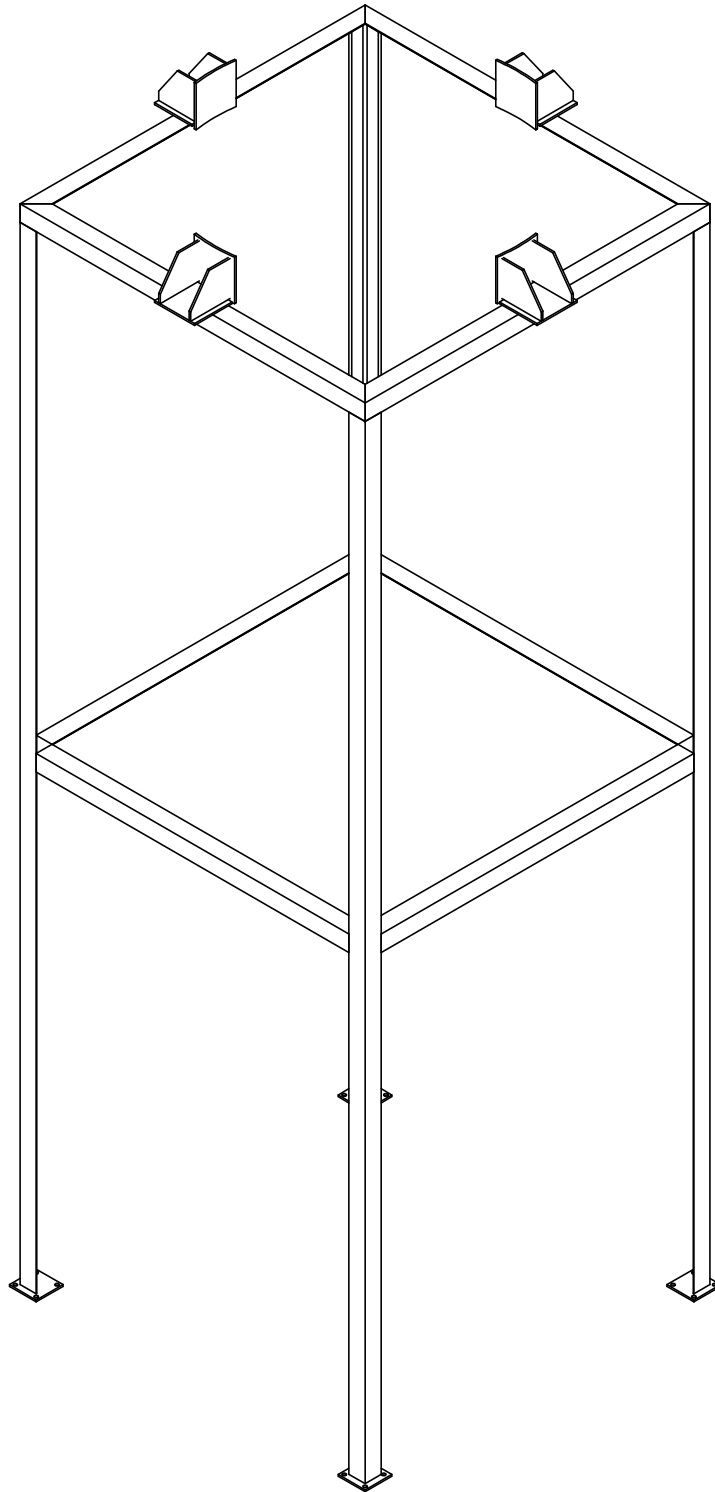


Observaciones:	Fecha	06/24	Nombre	Mamani. R	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.					
	Rev.					
	Apr.					
	Esc.	1:10	BRIDA SALIDA SUPERIOR			
Toler.		Material:			ASTM A36	
Rug.		N° de Plano:			17/27	

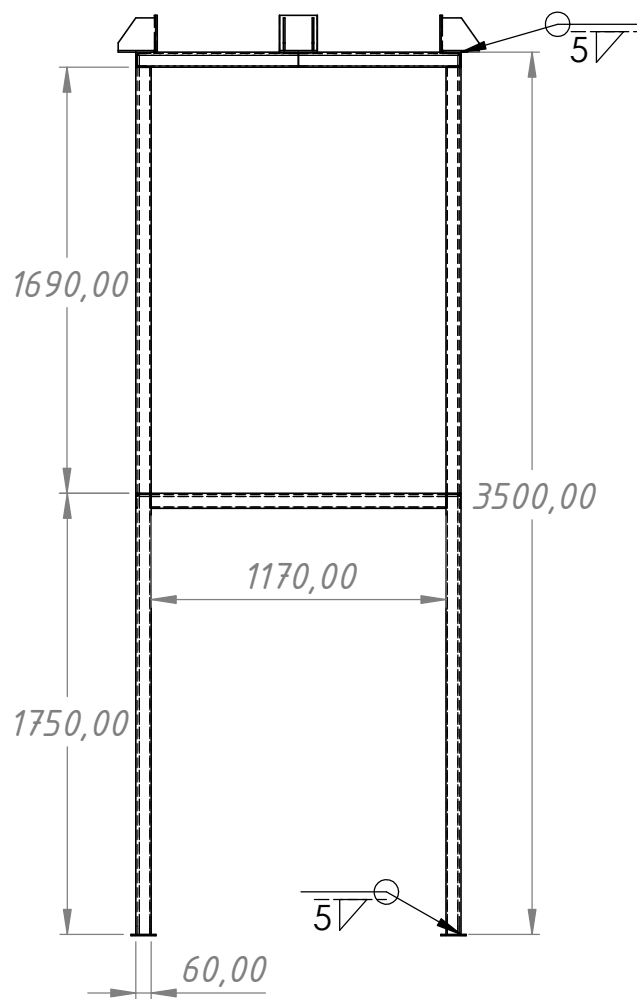
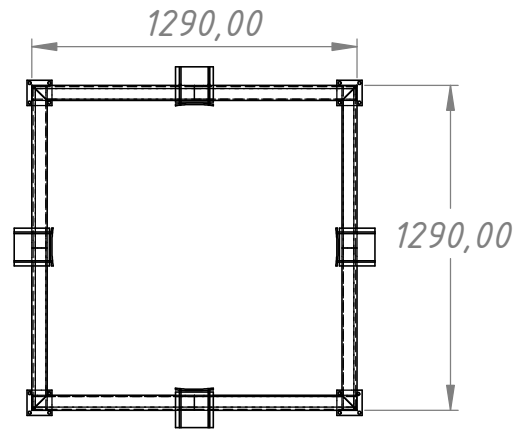


DETALLE A
ESCALA 2 : 1

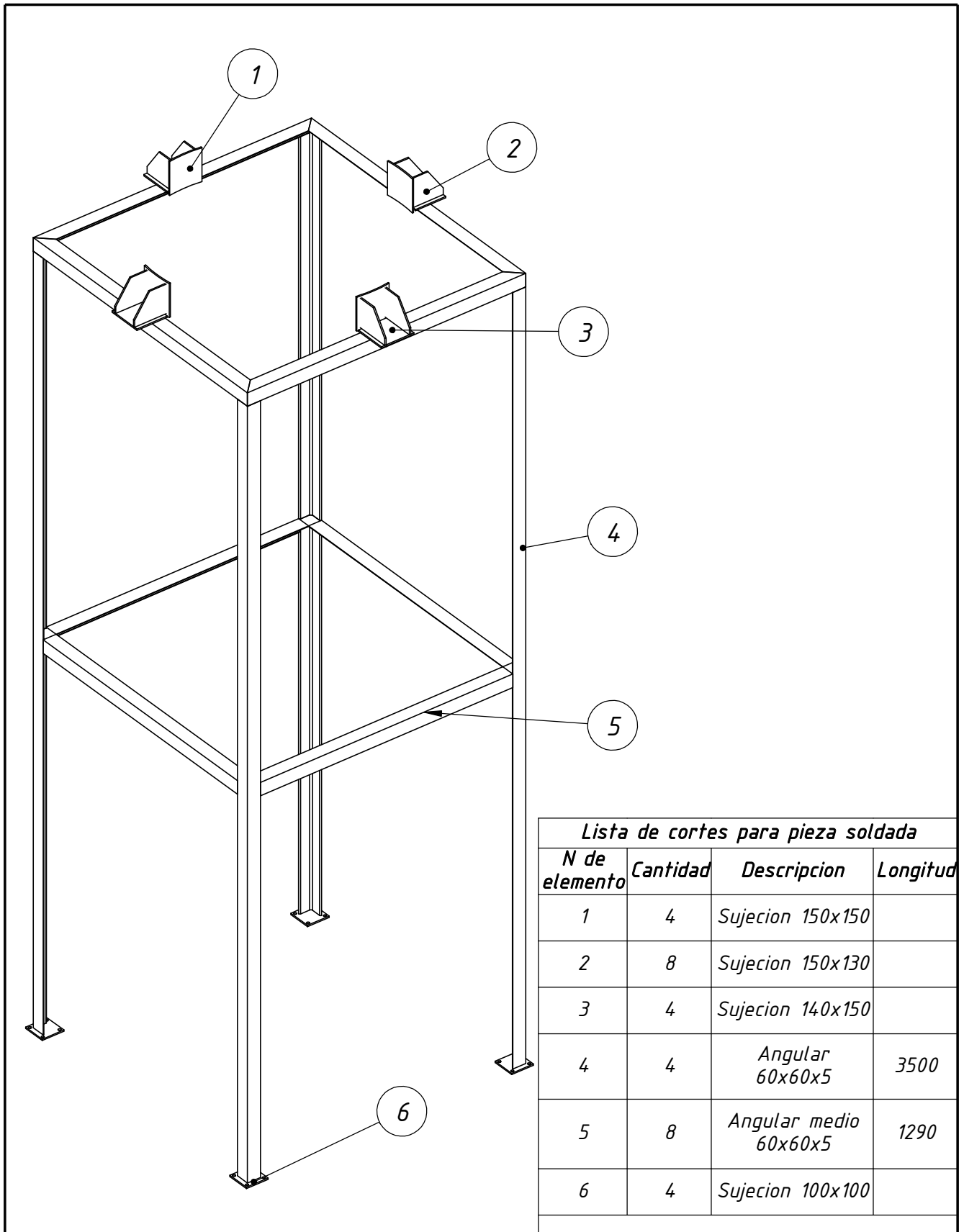
Observaciones:	Fecha	06/24	Nombre	Mamani. R	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.					
	Rev.					
	Apr.					
Esc.	1:10	BRIDA SALIDA INFERIOR			Cliente:	SOCCOMAVK S.C
Toler.					Material:	ASTM A36
Rug.					N° de Plano:	18/27



Observaciones:	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.	Mamani. R		
	Rev.			
	Apr.			
Esc.	ESTRUCTURA DE SOPORTE		Cliente:	
1:20			SOCCOMAVK S.C	
			Material:	ASTM A36
Toler.			N°de Plano:	19/27
Rug.				



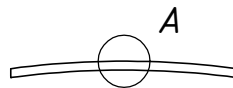
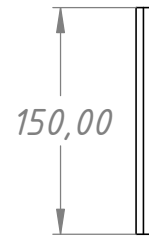
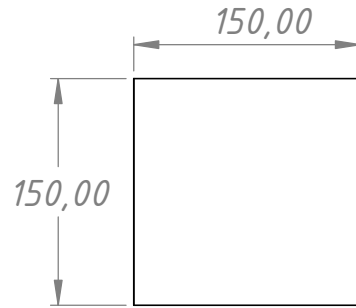
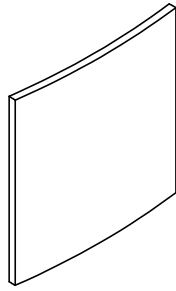
Observaciones:	Fecha	06/24	Nombre	Mamani. R	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.					
	Rev.					
	Apr.					
	Esc.	1:30	ESTRUCTURA DE SOPORTE VISTAS			
Toler.		Material:			ASTM A36	
Rug.		N° de Plano:			20/27	





Lista de cortes para pieza soldada

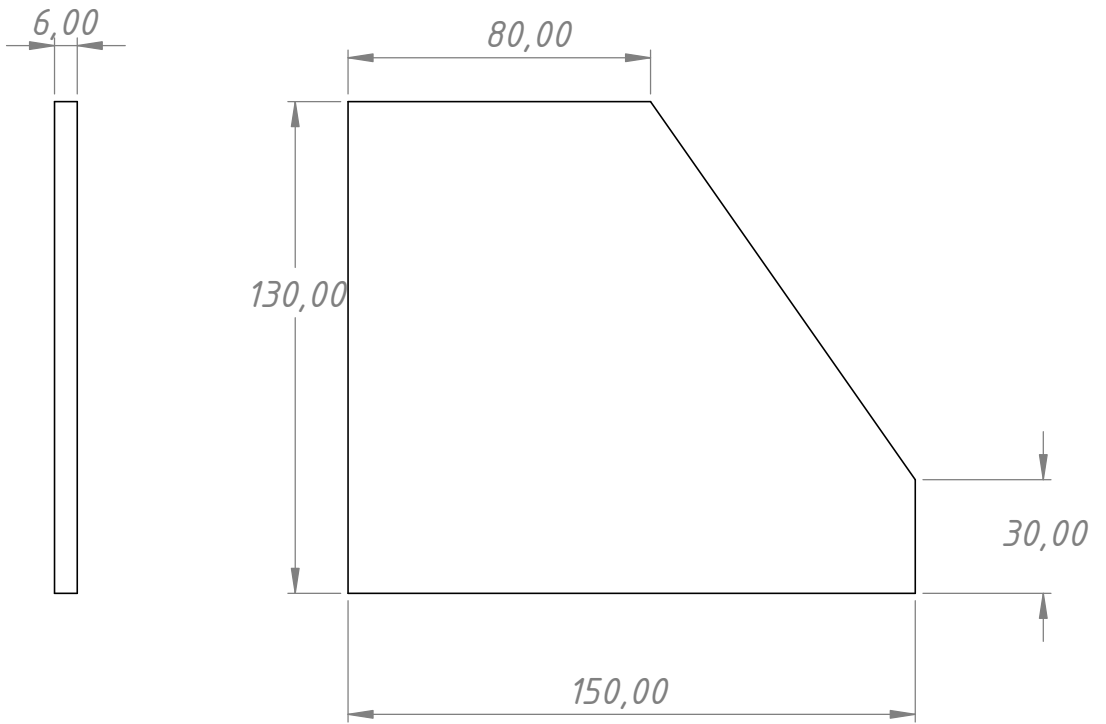
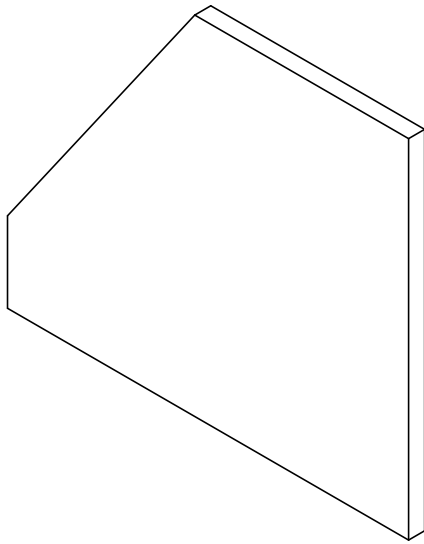
N de elemento	Cantidad	Descripcion	Longitud
1	4	Sujecion 150x150	
2	8	Sujecion 150x130	
3	4	Sujecion 140x150	
4	4	Angular 60x60x5	3500
5	8	Angular medio 60x60x5	1290
6	4	Sujecion 100x100	

<i>Observaciones:</i>	<i>Fecha</i>	06/24	<i>Nombre</i>	Mamani. R	CICLÓN INDUSTRIAL	
	<i>Dib.</i>					
	<i>Rev.</i>					
	<i>Apr.</i>					
	<i>Esc.</i>	1:20				
				ESTRUCTURA DE SOPORTE	Cliente:	
<i>Toler.</i>				DESCRIPCIÓN	SOCCOMAVK S.C	
<i>Rug.</i>					<i>Material:</i> ASTM A36	
					<i>N°de Plano:</i> 21/27	

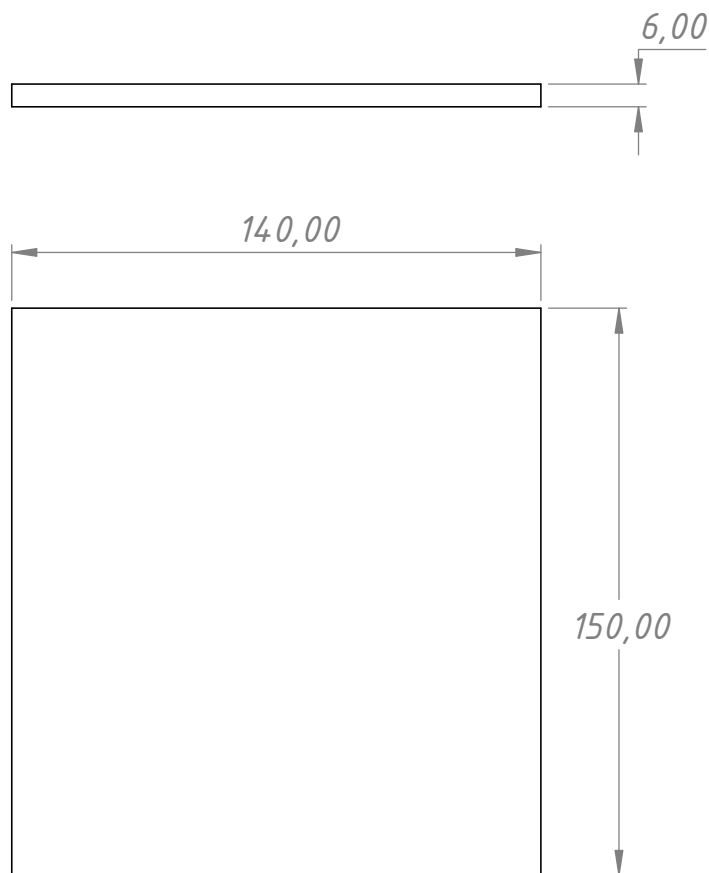
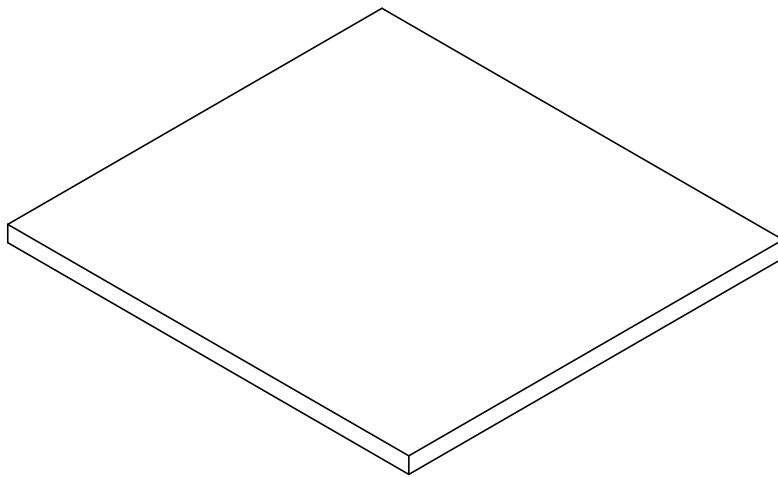




DETALLE A
ESCALA 2 : 1

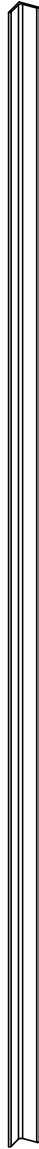
Observaciones:	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MEGA - ELECTRONICAS B.M.P.S.F.I.C.H.
	Dib.	Mamani. R		
	Rev.			
	Apr.			
	Esc.			
1:5	SUJECIÓN 150X150		Cliente: SOCCOMAVK S.C	
			Material: ASTM A36	
Toler. Rug.			N° de Plano: 22/27	



Observaciones:	Fecha	06/24	Nombre	Mamani. R	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.					
	Rev.					
	Apr.					
	Esc.	1:2				
				Cliente: SOCCOMAVK S.C		
	Toler. Rug.			Material: ASTM A36		
	SUJECIÓN 150X130			N°de Plano: 23/27		



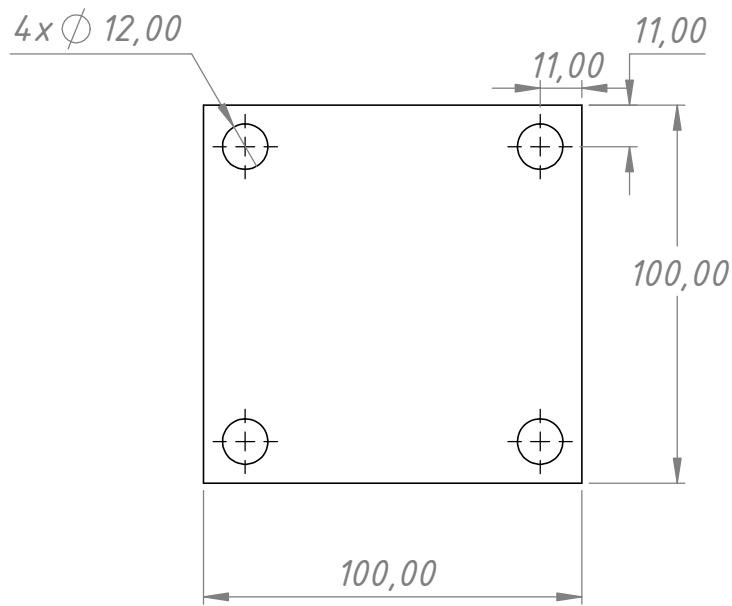
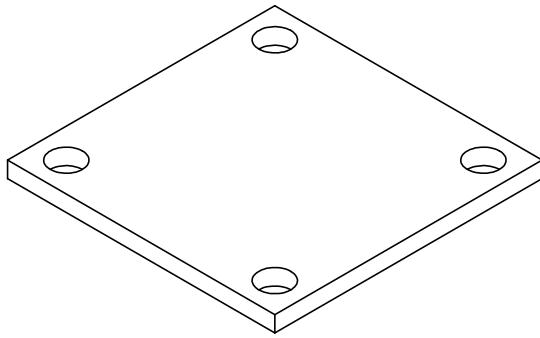
Observaciones:		Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS U.M.A.S.U.F.C.H.
	Dib.	06/24	Mamani. R		
	Rev.				
	Apr.				
	Esc.	1:2			
			SOCOMAVK S.C		
Toler.			Material:		
Rug.			ASTM A36	N° de Plano:	
					24/27





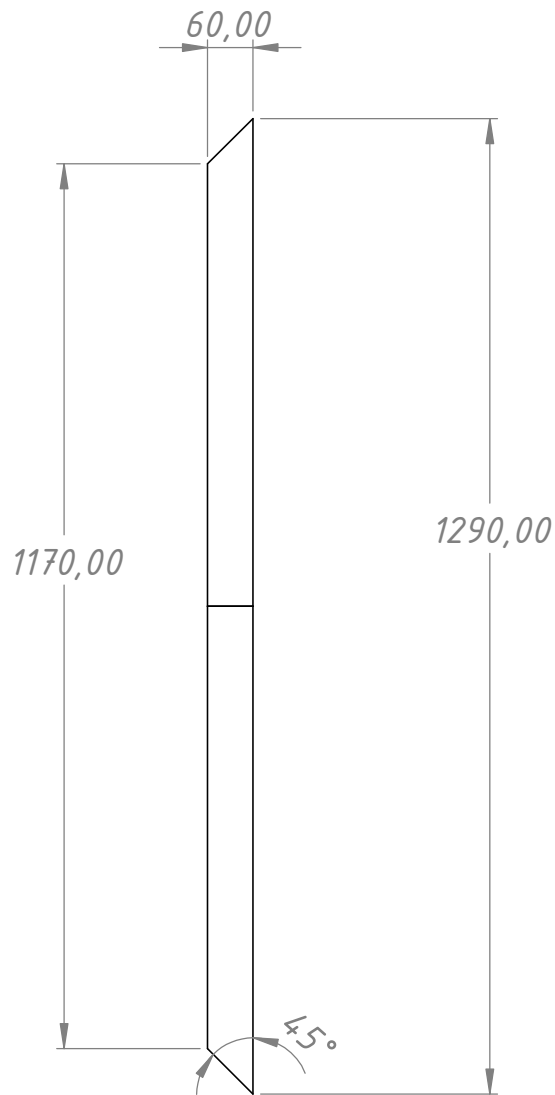
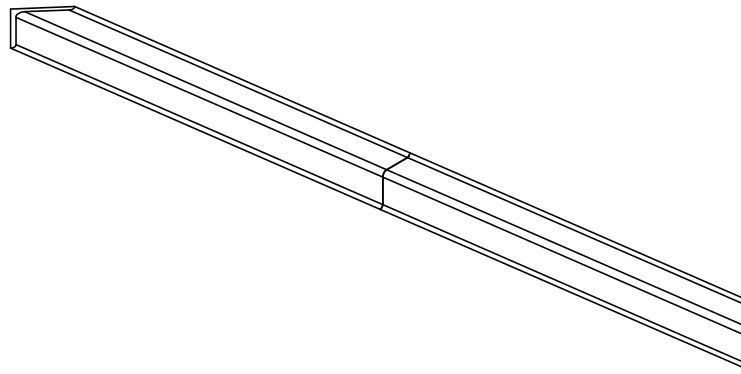
60,00



3500,00

Observaciones:	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.	Mamani. R		
	Rev.			
	Apr.			
	Esc.	1:20		
	Angular 60x60x5		Cliente: SOCCOMAVK S.C	
			Material: ASTM A36	
			N° de Plano: 25/27	



Observaciones:	Fecha	06/24	Nombre	Mamani. R	CICLÓN INDUSTRIAL	
	Dib.					
	Rev.					
	Apr.					
	Esc.	1:2	SUJECIÓN 100x100			
		Material:				ASTM A36
Toler.	Rug.	N° de Plano:				26/27



Observaciones:	Fecha	Nombre	CICLÓN INDUSTRIAL	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS U.M.A.S.U.F.A.C.H.
	Dib.	Mamani. R		
	Rev.			
	Apr.			
	Esc.			
1:10	Angular medio 60x60x5		Cliente: SOCCOMAVK S.C	
			Material: ASTM A36	
Toler. Rug.			N° de Plano: 27/27	